

VESIHALLITUKSEN MONISTESARJA

1982 : 135

ANAEROBISEN BIOKAASUREAKTORIN
SOVELTUVUUS PERUNATEOLLISUUDEN
JÄTEVESIEN PUHDISTUKSEEN

Osmo Niiranen

V E S I H A L L I T U K S E N M O N I S T E S A R J A

1982 : 135

ANAEROBISEN BIOKAASUREAKTORIN
SOVELTUVUUS PERUNATEOLLISUUDEN
JÄTEVESIEN PUHDISTUKSEEN

Osmo Niiranen

Tekijä on vastuussa julkaisun sisällöstä eikä siihen voida
vedota VH:n virallisena kannanottona

SISÄLLYS

Sivu

| | |
|--|----|
| TIIVISTELMÄ | 5 |
| 1. JOHDANTO | 5 |
| 2. KATSAUS ANAEROBITEKNIikkaAN | 6 |
| 2.1 Yleistä | 6 |
| 2.2 Anaerobipuhdistuksen käyttökelpoisuuteen vaikuttavia tekijöitä | 7 |
| 2.3 Anaerobiset reaktorit | 8 |
| 2.4 Mabi-biokaasureaktori | 8 |
| 2.4.1 Yleistä | 8 |
| 2.4.2 Toimintaperiaate | 8 |
| 2.5 Biokaasureaktori osana puhdistusprosessia | 10 |
| 3. ANAEROBISEN METAANIKAÄYMISEN TEORIA | 12 |
| 3.1 Orgaanisen aineen hajoaminen | 12 |
| 3.2 Biomassa | 13 |
| 3.2.1 Mikrobiryhmät | 13 |
| 3.2.2 Biomassan koostumus | 13 |
| 3.3 Reaktorin toimintaparametrit | 14 |
| 3.3.1 Fysikaaliset tekijät | 14 |
| 3.3.2 Kemialliset tekijät | 16 |
| 3.4 Määdätettävä materiaali | 18 |
| 3.4.1 Hajoamiskelpoisen orgaanisen aineen määrä | 18 |
| 3.4.2 Ravinnetasapaino | 18 |
| 3.4.3 Toksiset aineet | 19 |
| 3.5 Reaktorin käynnistys | 20 |
| 4. TEHTAAN PROSESSI | 21 |
| 4.1 Yleistä | 21 |
| 4.2 Tuotantolinjat | 21 |
| 5. JÄTEVEDEN LAATU JA MÄÄRÄ | 21 |
| 5.1 Yleistä | 21 |
| 5.2 Veden käyttö prosessissa | 21 |
| 5.3 Jäteveden ominaisuudet | 22 |
| 5.4 Jäteveden koostumus raaka-aineen ominaisuuksien perusteella | 22 |
| 5.4.1 Perunan koostumus | 22 |
| 5.4.2 Raaka-aineen soveltuminen mädätysprosessiin | 23 |
| 6. PUHDISTUSPROSESSI JA SEN SEURANTA | 24 |
| 6.1 Yleistä | 24 |
| 6.2 Puhdistamon toimintaperiaate | 24 |
| 6.3 Tutkimusmenetelmät | 25 |
| 6.3.1 Tutkimusohjelma havaintojaksolla | 25 |
| 6.3.2 Näytteenotto ja analyysi-menetelmät | 25 |
| 6.4 Rumpusiivilä | 26 |
| 6.5 Selkeytys | 27 |
| 6.6 Aktiivilietelaitos | 28 |
| 6.6.1 Mitoitus | 28 |
| 6.6.2 Toiminta | 28 |

| | | |
|-------|--|----|
| 6.7 | Mabi-reaktorin toiminta | 29 |
| 6.7.2 | Ensimmäinen käyntijakso | 29 |
| 6.7.3 | Toinen käyntijakso | 31 |
| 6.8 | Yhteenveto puhdistamon toiminnasta | 36 |
| 6.8.1 | Puhdistusteho | 36 |
| 6.8.2 | Ainetaseet | 36 |
| 7. | REAKTORIN MERKITYS ENERGIAANTUOTANNOSSA | 38 |
| 7.1 | Kaasun hyödyntäminen | 38 |
| 7.2 | Energiatase | 39 |
| 8. | REATKORILIIETTEEN KÄSITTELY- JA HYÖTYKÄYTTÖ- MAHDOLLISUUDET | 40 |
| 8.1 | Yleistä | 40 |
| 8.2 | Reaktorilietteen ominaisuudet | 40 |
| 8.3 | Reaktorilietteen käsittelyvaihtoehdot | 41 |

LÄHDELUETTELO

LIITTEET

TIIVISTELMÄ

Anaerobitekniikan soveltuvuutta perunanjalostustehtaan jäteveden orgaanisen kiintoaineen käsittelyyn seurattiin Kristiinankaupungissa sijaitsevan Börje Norrgård Ky:n perunanjalostustehtaan puhdistamolla seitsemän kuukauden ajan. Tehtaan jätevesi sisältää runsaasti orgaanista ja epäorgaanista kiintoainesta. Jätevedestä erotetaan karkein aines rumpusiivilällä ja johdetaan biokaasureaktoriin. Vesi johdetaan selkeytysaltaan kautta aktiivilietepuhdistamoon. Selkeytysaltaaseen laskeutunut liete ja ilmastusaltaan ylijäämäliete pumpataan reaktoriin.

Biokaasureaktorin käyntiinajovaihe kesti 2-4 kk ja vaati tarkkaa valvontaa. Perunajätteen ominaisuudet soveltuivat mädätykseen hyvin. Kaasun saanto raaka-aineesta oli erittäin korkea: $0,9 \text{ m}^3/\text{kg VS}_{\text{syöt.}}$ (VS = orgaaninen kuiva-aine). Metaanipitoisuus oli n. 55 % kuten yleensä hiilihydraattipitoisella jätteellä. Lietetilavuudeltaan 95 m^3 reaktorin tilavuustuotto oli n. $2,5 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{d}$. Reaktorin tilavuuskuorma oli tällöin $2,9 \text{ kg VS}/\text{m}^3\text{d}$, mikä ei kuitenkaan ollut riittävä tehtaan koko lietemäärän käsittelyyn.

Puhdistamon toiminta kokonaisuutena ei vastannut asetettuja tavoitteita aktiivilietelaitoksen ilmastuskapasiteetin riittämättömyyden ja reaktorilietteen käsittelyssä ja hyödyntämisessä olevien ongelmien vuoksi. Ilmastuksen hapetuskapasiteetti rajoitti sallitun kuormituksen arvoon 25-30 kg BHK7/d, mikä oli n. 60 % vaaditusta. Reaktorilietteen hyötykäyttöä haittasi korkea vesipitoisuus, joka nostaa kuljetuskustannuksia ja estää lietteen käytön sellaisenaan maanparannusaineena. Alustavan vertailun mukaan reaktorilietteen käsittely olisi edullisinta järjestää erottamalla kiintoaine mekaanisesti ja puhdistamalla lietevesi aktiivilietemenetelmällä. Toinen käyttökelpoinen vaihtoehto on lietteen kuivaus lietelavoilla.

Reaktorin energiatase oli erittäin hyvä, vaikka raakalietteen syötön epätasaisuudesta johtuva kaasun laadun vaihtelu vaikeutti ajoittain kaasun hyväksikäyttöä. Tuotetusta energiasta vain 15 % kului reaktorin lämmitykseen ja sekoitukseen. Jätevedenpuhdistamo kokonaisuudessaan on energian suhteen omavarainen.

1. JOHDANTO

Elintarviketeollisuuden jätevedet ovat usein osoittautuneet ongelmallisiksi käsitellä. Tämä koskee myös perunanjalostusteollisuutta. Jätevedet sisältävät poikkeuksellisen suuria kiintoainemääriä ja liuenneiden aineiden konsentraatiot voivat olla monikymmenkertaiset tavalliseen asumajätevedeen verrattuna. Jätevesien puhdistus on yleensä perustunut mekaanisiin, kemiallisiin sekä aerobisiin biologisiin menetelmiin. Ilmastuksen energiankulutus on suuri käsiteltäessä konsentroituja jätevesiä. Lietteenkäsittely muodostaa myös suuren osan käsittelykustannuksista.

Uutena vaihtoehtona on ryhdytty selvittämään anaerobitekniikan käyttöä perunanjalostustehtaan jätevesien käsittelyyn.

Saavutettuja etuja ovat mm. lietteen kuiva-ainemäärän pieneminen, lietteen stabiloituminen hygieeniseksi ja hyötykäyttöön soveltuvaksi sekä puhdistamon positiivinen energiatase.

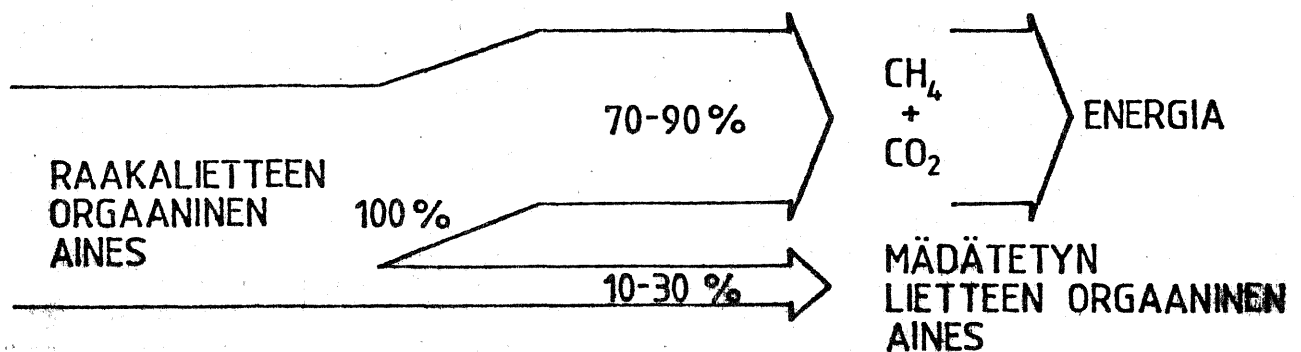
Tässä tutkimuksessa on selvitetty anaerobisen biokaasureaktorin ja aktiivilietelaitoksen soveltuvuutta ranskanperunatehtaan jätevesien puhdistukseen laitosmittakaavassa. Tutkimuksessa on selvitetty koko jätevedenpuhdistamon puhdistusteho ja pyritty löytämään oikea ajotapa laitokselle. Lisäksi on tarkasteltu prosessin mitoitusta sekä reaktorin käyntiinajoon liittyviä ongelmia. Prosessin energiatalous sekä reaktorilietteen hyötykäyttömahdollisuudet ovat myös tarkastelun kohteena.

Tutkimuksen alkuvaiheessa touko-heinäkuussa seurattiin biologisten prosessien vakiintumista sekä tehtiin alustavia havaintoja eri yksiköiden toiminnasta. Reaktorin hämmenninkoneiston vaurio heinäkuun lopulla keskeytti tutkimuksen. Toista käyntiinajovaihetta seurattiin syksyllä loka-marraskuussa ja tarkailujakso puhdistamon toiminnasta suoritettiin joulukuun alussa.

2. KATSAUS ANAEROBITEKNIikkaAN

2.1 YLEISTÄ

Metaanikäyminen eli mädätys on monivaiheinen biologinen prosessi, jossa suurimolekyylisistä orgaanisista yhdisteistä muodostuu hapettomissa olosuhteissa metaania ja hiilidioksidia. Syntyvä biokaasu sopii sellaisenaan hyödynnettäväksi energiantuotannossa.



Kuva 1. Yksinkertaistettu kaavio anaerobisesta hajoamisesta.

Viime vuosina anaerobitekniikka on edennyt erittäin nopeasti laajan tutkimustyön seurauksena. Uusia reaktorityyppejä on kehitetty erilaisten jätevesien ja -lietteiden käsittelyyn. Eräitä reaktoreita ja anaerobitekniikkaan perustuvia puhdistamoita markkinoidaan jo kaupallisesti lähinnä elintarviketeollisuuden ja maatalouden jätteiden käsittelyyn. Tässä tutkimuksessa käsitelty prosessi on Suomessa kehitetyn MABI-reaktorin ensimmäinen sovellutus elintarviketeollisuudessa. Reaktoria käytetään perunanjalostustehtaan jätevesien kiintoaineen käsittelyyn. Vastaavasta prosessista ei ole kokemuksia myöskään muissa maissa. Anaerobitekniikan sovellutukset perunateollisuudessa ovat koskeneet lähinnä liuenneessa muodossa olevan orgaanisen aineen käsittelyä.

2.2 ANAEROBIPUHDISTUKSEN KÄYTTÖKELPOISUUTEEN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ

Anaerobitekniikan edullisuus konventionaalisiin puhdistusmenetelmiin verrattuna perustuu useimmiten mädätyksessä syntyvän biokaasun energia-arvoon. Ero anaerobipuhdistuksen hyväksi on sitä selvempi mitä konsentroidumpaa käsiteltävä jätevesi tai liete on. Myös monessa muussa suhteessa on aerobi- ja anaerobitekniikalla merkittäviä eroja.

Taulukkoon 1 on koottu anaerobiprosessien edut ja haitat aerobeihin prosesseihin verrattuna.

Taulukko 1. Anaerobiprosessien edut ja haitat.

| | |
|---------|---|
| Edut: | <ul style="list-style-type: none"> - pieni biologisen lietteen tuotanto - jäännösliete on stabiili ja helppo kuivata koneellisesti - pieni ravinteiden tarve - pieni tai olematon energian tarve, koska ilmastusta ei tarvita - noin 90 % hajoavasta materiaalista voidaan muuttaa metaaniksi ja edelleen energiaksi - raaka-aineen sisältämät ravinteet jäävät lietteeseen - mädättämölietteen mikrobikanta voidaan varastoida jopa vuodeksi ja ottaa käyttöön uudelleen - aerobipuhdistusta pienempi tilantarve (BOD/COD kuormituksen mukaan) - mahdollisuus runsaasti kiintoainetta sisältävien jätevesien ja lietteiden käsittelyyn. |
| Haitat: | <ul style="list-style-type: none"> - käyntiinajovaihe saattaa kestää kauan, 2-5 kk - prosessi on herkkä eräille yhdisteille/aineille: liuottimet, raskasmetallit, pesuaineet, antibiootit - prosessi toimii parhaiten lämpötilassa n. 35°C (55°C) - hyvä jäteveden puhdistustulos vaatii aerobin viimeistelyn - soveltuu lähinnä konsentroitujen jätevesien käsittelyyn - kokemukset anaerobisista jätevedenpuhdistamoista ovat vähäisiä - ligniini ei hajoa, selluloosa hajoaa erittäin hitaasti. |

Anaerobipuhdistus on siis ennen muuta konsentroitujen jätevesien ja lietteiden esikäsittelymenetelmä. Anaerobisesti käsitelty jätevesi on hapetonta eikä se sellaisenaan yleensä sovellu laskettavaksi suoraan purkuvesistöön. On ilmeistä, että käyttämällä anaerobi- ja aerobimenetelmiä yhdessä tullaan pääsemään parhaisiin tuloksiin.

2.3 ANAEROBISET REAKTORIT

Reaktoriityypit voidaan karkeasti jakaa kahteen ryhmään. Toisen muodostavat suhteellisen laimeiden, liuenneessa muodossa olevaa orgaanista ainesta sisältävien jätevesien käsittelyyn soveltuvat reaktoriityypit (mm. up-flow, fluidized bed, filter). Toiseen kuuluvat konsentroitujen, runsaasti orgaanista kiintoainetta sisältävien lietteiden käsittelyyn soveltuvat reaktorit (mm. high-rate, contact process, MABI).

Reaktoreiden yksityiskohdissa on edelleen runsaasti eroja, jotka liittyvät biomassan palautusmenetelmään, sekoitukseen, lämmitykseen ja vaiheiden määrään. Liitteessä 1 on esitetty yleisimpiä reaktoriityyppejä, niiden likimääräiset toimintaparametrit sekä sovellutusalueita. Arvot ovat lähinnä suuntaa antavia ja vaihtelevat paljon eri tyyppisillä jätteillä.

Tällä hetkellä pisimmälle kehitettyjä prosesseja ovat neste-mäisten jätteiden käsittelyssä UASB (up-flow) prosessi ja konsentroitujen lietteiden käsittelyssä mm. MABI-reaktori.

2.4 MABI-BIOKAASUREAKTORI

2.4.1 Y l e i s t ä

Mabi-reaktori on suomalainen keksintö, jolle on haettu patentti useassa maassa. Kehitystyötä ovat tukeneet mm. maa- ja metsätalousministeriö, Maj ja Tor Nesslingin säätiö sekä SITRA. Reaktorin prototyyppi on toiminut hyvin jo kaksi vuotta käyttäen raaka-aineena sian lietelantaa. Norrgård Ky:n perunanjalostustehtaalte 1981 valmistunut reaktori on ensimmäinen sovellutus teollisuudessa. Vuoden 1981 aikana rakennettiin lisäksi Suomeen ja Ruotsiin yksi reaktori maatalouden käyttöön. Vientiä laajennetaan edelleen mm. Neuvostoliittoon, jonne on tilattu kaksi reaktoria.

2.4.2 T o i m i n t a p e r i a a t e

Reaktori on makaavan sylinterin muotoinen lämpöeristetty säiliö, joka on varustettu vaaka-akselisella hämmentimellä (kuva 2). Raakaliete syötetään reaktorin alkupäähän, jolloin vastaava tilavuus mädätettyä lietettä poistuu ylivuotona sylinterin loppupäässä. Kaasu poistuu sylinterin yläosassa olevasta kaasutilasta omalla paineellaan.

Reaktorin päästä toiseen ulottuvaan hämmentimeen kiinnitetyt neljä väliseinää jakavat lietetilän viiteen osastoon. Toiminnallisesti reaktoritilavuus jakautuu kolmeen vaiheeseen.

1. Ensimmäisessä osastossa tapahtuu syöttölietteen lämmitys prosessilämpötilaan sekä hydrolyysi-/happokäymisvaihe.
2. Toisessa, kolmannessa ja neljännessä osastossa tapahtuu varsinainen metaanikäyminen.
3. Viides osasto toimii selkeytysyksikkönä, josta laskeutunut biomassa palautetaan metaanikäymisvaiheen alkuun.

Rakenteilla on pyritty saavuttamaan seuraavat edut:

Biomassan palautussysteemi:

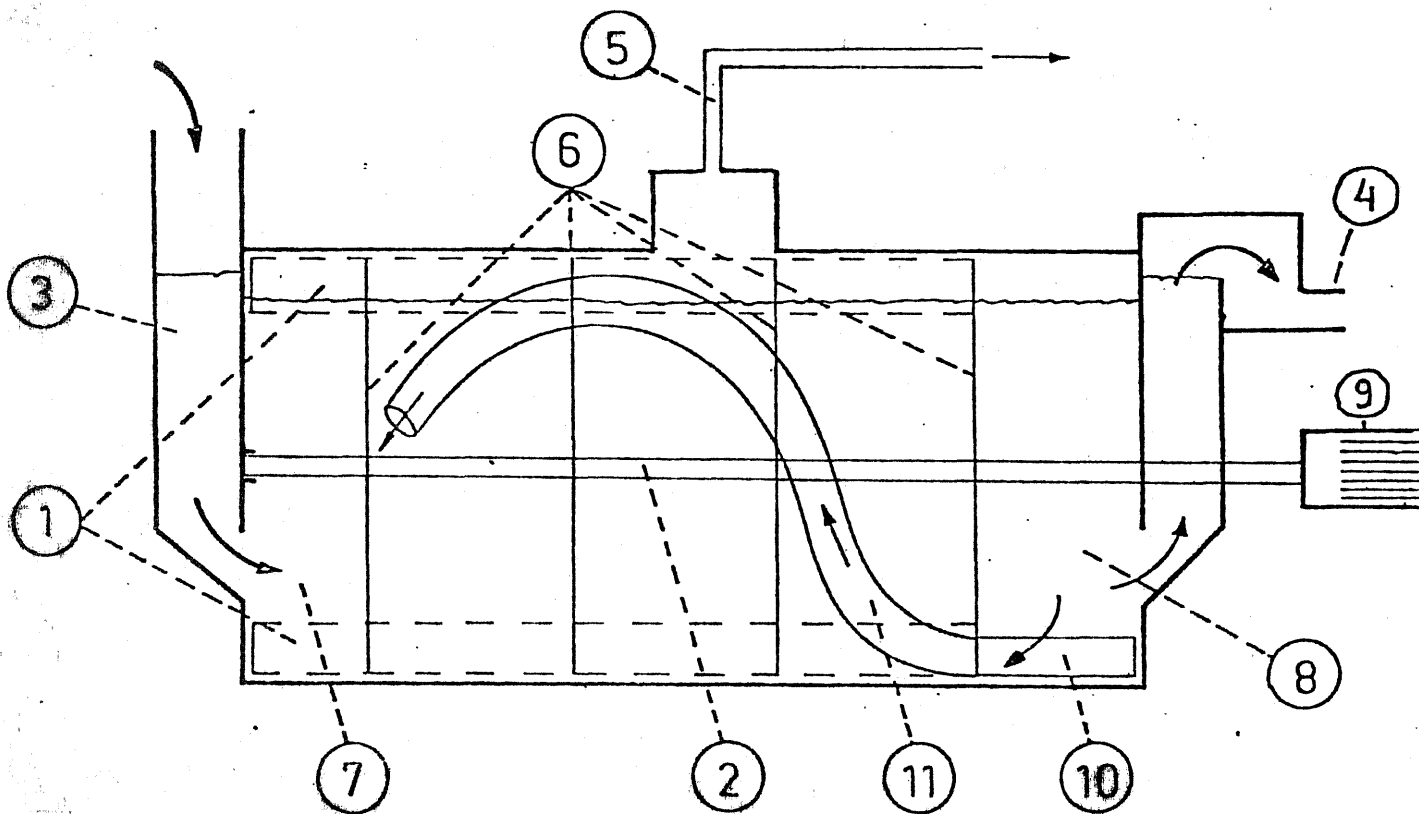
- pitkä biologinen viipymä
- vastustuskyky tilapäisen ylikuormituksen ja myrkkypäästöjen suhteen

Vaaka-akselinen mekaaninen hämmennin:

- sopii sakeille lietteille
- ei riko mikrobiflokkia kuten pumput ja potkurisekoittimet
- ei happivuotoja pumppujen tiivistuksista
- ei kuolleita kulmia reaktorissa
- hämmennin poistaa vaahto- ja pintalietekerrokset sekä irrottaa raskaan pohjalietteen

Väliseinät:

- ei oikovirtauksia reaktorin läpi
- erilliset happo- ja metaanivaiheet sekä selkeytysosasto



1. Hämmennimen lavat
2. hämmennimen akseli
3. syöttöputki
4. poistoputki
5. kaasun poistoputki
6. väliseinät
7. lämmitys/happokäyminen
8. selkeytys
9. hämmennimen käyttömoottori
10. biomassan keräyskauha
11. biomassan palautusputki

Kuva 2. MABI-biokaasureaktori

Reaktorin prosessilämpötila on 35°C ja normaali hydraulinen viipymä 10-15 d. Myös muut toimintaolosuhteet ovat helposti toteutettavissa. Norrgård Ky:n reaktorin kokonaistilavuus on 106 m³, josta lietetilavuutta on 95 m³. Sekoitus ja lietteen palautus tapahtuu 3 kW:n sähkömoottorilla. Lietteiden sähkölämmityksen suurin teho on 18 kW.

2.5 BIOKAASUREAKTORI OSANA PUHDISTUSPROSESSIA

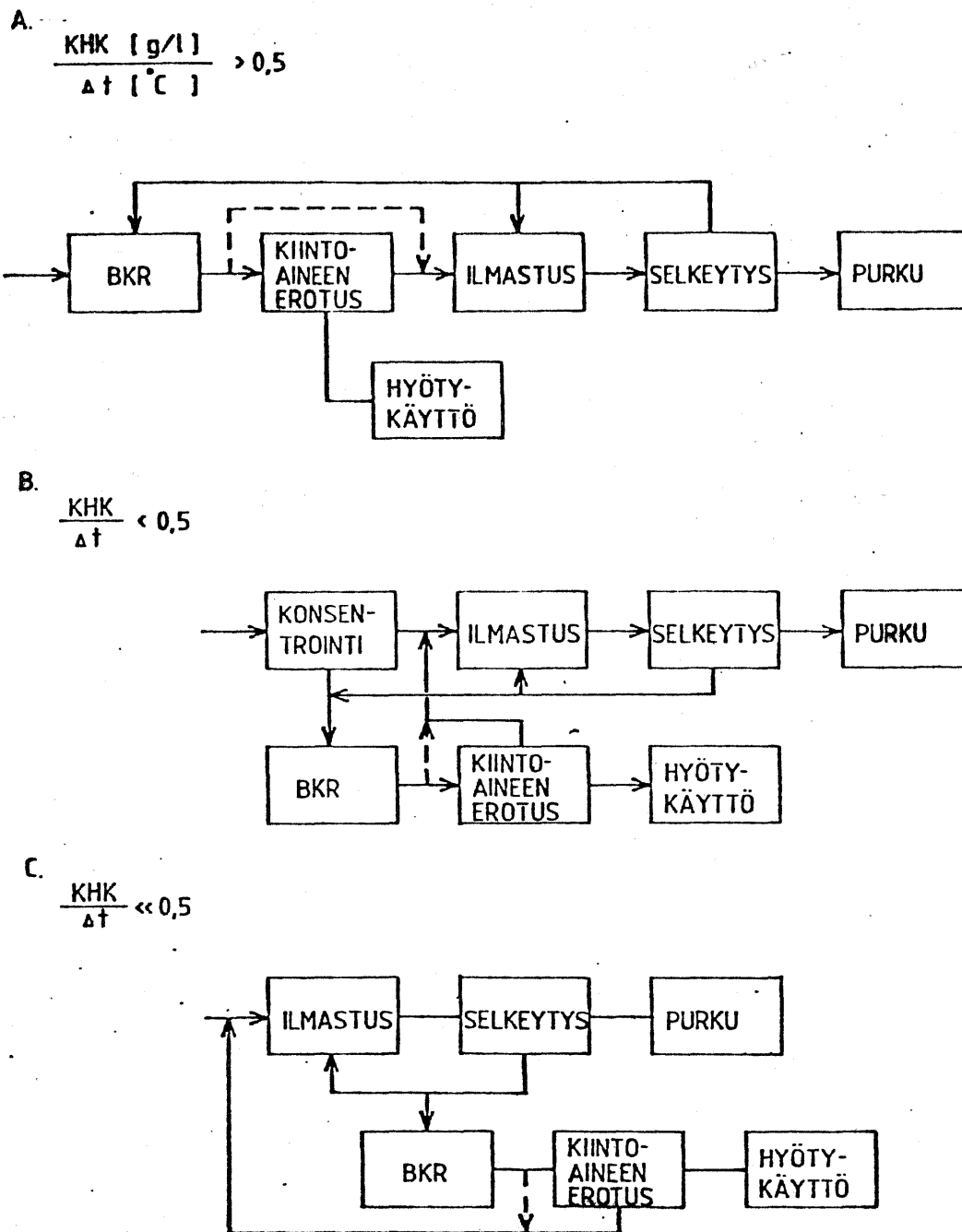
Tavallisesti mädätystä on sovellettu kunnallisilla jätevedenpuhdistamoilla syntyvän esiselkeytys- ja biologisen ylijäämalietteen stabilointiin. Nämä mädättämöt ovat nykytekniikan kannalta melko vanhanaikaisia täyssekoitteisia high-rate laitoksia, joiden hyötysuhde energiantuotannossa on melko heikko. Tästä syystä mädättämiä on rakennettu vain suurille puhdistamoille, joiden AVL on yleensä yli 20 000. Hydrauliset viipymät näillä mädättäimillä ovat luokkaa 20-40 d. Reaktori-tekniikan kehittyminen on tehnyt mahdolliseksi myös pienten ja tehokkaiden mädättämöiden rakentamisen. Tarpeen mukaan voidaan käsitellä väkeviä jätevesiä n. 0,2-5 d viipymällä tai paljon orgaanista kuiva-ainetta sisältäviä lietteitä 5-20 d viipymällä. Uusien mädättämöiden energiantuotto voi johtaa 5-10 v takaisinmaksuajkaan samalla kun saavutetaan merkittäviä säästöjä lietteen kuiva-aineen vähenemisen ja stabiloitumisen johdosta. Laimeilla jätteillä anaerobiprosessien tarkoituksena on lähinnä BHK-kuormituksen vähentäminen.

Kuvassa 3 on esitetty periaatteita biokaasureaktorin sijoittamisesta puhdistusprosessiin. Valinnan ratkaisee lähinnä jätteen orgaanisen hajoamiskelpoisen aineksen määrä ja jäteveden lämpötila. Laimeilla jätevesillä vaaditaan usein konsentrintia, jotta lämmityskustannukset eivät nouse kohtuuttomiksi. Anaerobikäsitteilyn kannattavuuden alarajana pidetään usein konsentraatiota 2000 mg KHK/l, mikä edellyttää, että jätteen lämpötila on melko korkea.

Kannattavuutta arvioitaessa on huomioitava myös säästöt ilmastus- ja lietteenkäsittelykustannuksissa. Säästöjä ilmastuskustannuksissa voidaan arvioida energiankulutuksen perusteella, mikä on n. 1 kWh/poistettu BHK₇-kg. Teollisuudessa on usein mahdollista lämmittää reaktori jätelämmöllä, jolloin anaerobipuhdistuksen kannattavuus paranee.

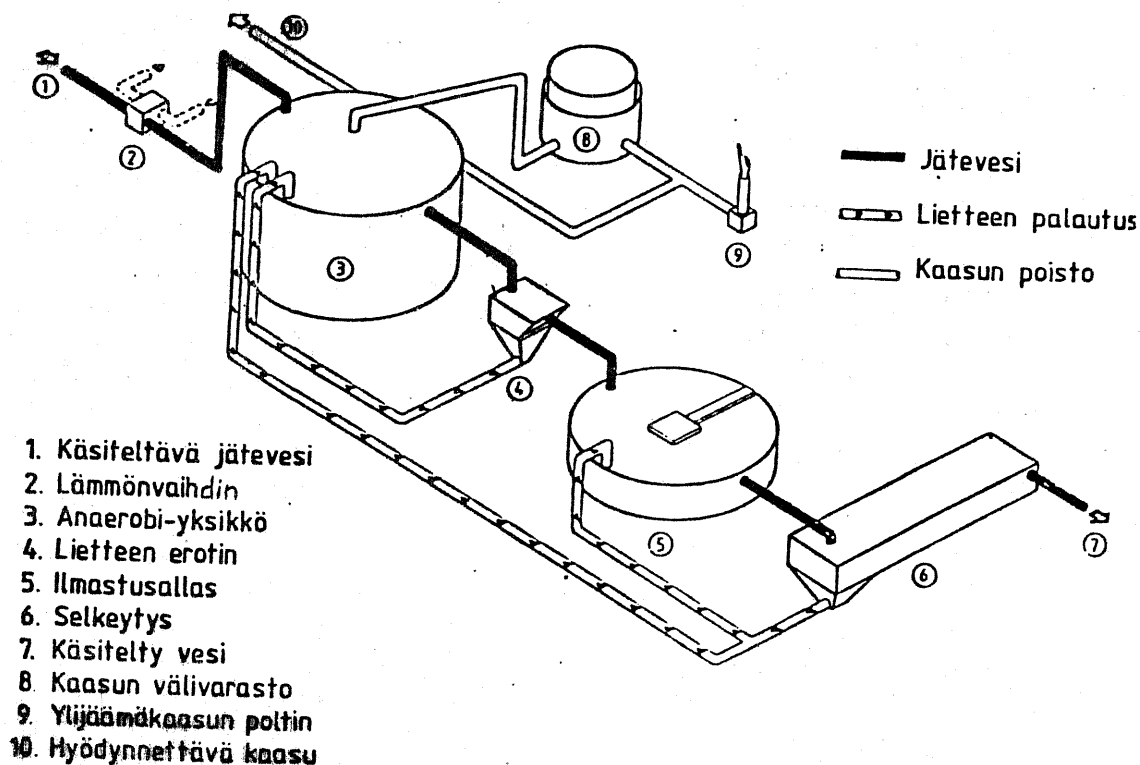
Anaerobitekniikkaa voidaan käyttää myös teollisuusjätevesien esikäsitteilyyn ennen kunnalliseen viemäriin johtamista. Näin voidaan poistaa 70-90 % jätevesien sisältämästä BHK-kuormituksesta. Teollisuuslaitosten kustannusosuudet saattavat olla varsin korkeita pienten kuntien jätevedenpuhdistamoiden kustannuksista, jolloin tehtaalla tapahtuva anaerobi esikäsitteily voi olla kannattava vaihtoehto.

Mädättämötekniikan kehittyminen voi tuoda asumajätevesien puhdistamoiden ilmastusyksiköiden mitoitusuuden uuden lähtökohdan. Nykyään kunnallisten puhdistamoiden mitoitus perustuu usein melko pieneen lietekuormaan ja pitkään viipymään, jolloin ylijäämelietteen määrä on vähäinen. Jatkossa olisi syytä tutkia mahdollisuuksia korkeakuormitteisten, biomassan tuotannon maksimointiin tähtäävien ilmastusyksiköiden käyttöön. Jäteveden BHK-kuorma pyrittäisiin tällöin sitomaan mahdollisimman tehokkaasti biomassaan, joka mädätettäisiin anaerobiyksikössä.



Kuva 3. Biokaasureaktorin (BKR) soveltamisvaihtoehtoja puhdistusprosessiin.

Esimerkkinä anaerobitekniikkaan perustuvasta jätevedenpuhdistamosta on kuvassa 4 esitetty ruotsalainen ANAMET-prosessi. Jätevesi johdetaan anaerobiyksikköön, jonka jälkeen seuraa aerobi vaihe. Puhdistamalla on saavutettu 96-99 % BHK-reduktioita pilotmittakaavassa erityyppisillä elintarviketeollisuuden jätevesillä (Frostell 1981). Myös laitosmittakaavaisia prosesseja on käytössä. Jäteveden konsentraation alaraja on n. 5000 mg BOD₇/l.



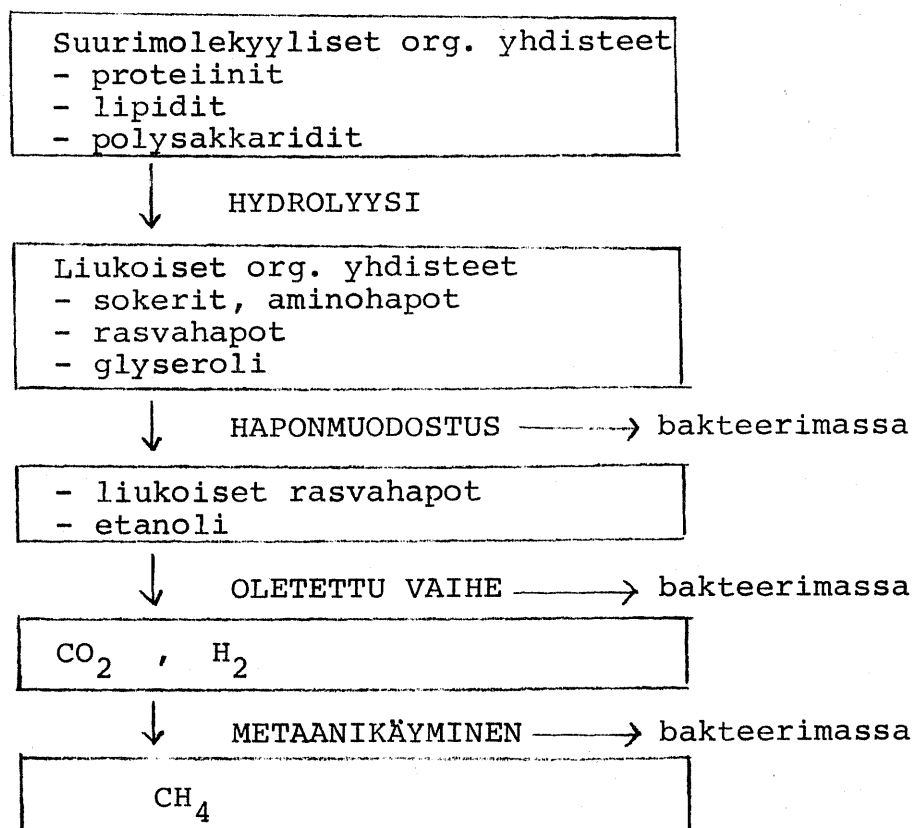
Kuva 4. ANAMET-jätevedenpuhdistamon prosessikaavio
(ANAMET-Sorigona esite)

3. ANAEROBISEN METAANIKÄYMISEN TEORIA

3.1 ORGAANISEN AINEEN HAJOAMINEN

Hajoamistapahtumaa voidaan tarkemmin havainnollistaa kuvan 5 avulla. Alkuvaiheessa suurimolekyyliset orgaaniset yhdisteet kuten proteiinit, lipidit ja polysakkaridit hydrolysoituvat liukoisiksi yhdisteiksi: sokereiksi, amino- ja rasvahapoiksi sekä glyseroliksi. Haponmuodostajabakteerien toiminnan seurauksena nämä hajoavat edelleen liukoisiksi rasvahapoiksi sekä alkoholeiksi. Metaanikäymisvaiheessa välituotteista syntetisoituvat metaanibakteerit tuottavat energiansa molekulaarisen vedyn anaerobisella hapettamisella reaktioyhtälön (1) mukaan.





Kuva 5. Kaavio reaktorissa tapahtuvasta hajoamisprosessista (Frostell, Norrmann 1976)

3.2 BIOMASSA

3.2.1 Mikrobiryhmät

Alkuvaiheen haponmuodostajabakteereihin kuuluu sekä fakultatiivisesti että ehdottomasti anaerobeja bakteereita. Haponmuodostajabakteerit säilyttävät toimintakykynsä myös matalissa pH-arvoissa toisin kuin metaanibakteerit, joiden toiminta-alue on melko kapea ja lähellä neutraalia pH:ta. Morfologisesti ja rakenteellisesti metaanibakteerit ovat melko epähomogeeninen ryhmä. Samaan ryhmään ne sijoitetaan yhteisten ja ainutlaatuisten fysiologisten ominaisuuksien johdosta. Näitä ovat: ehdoton anaerobisuus, yksinkertaiset ravinnevaatimukset, hidaskasvuisuus ja erikoinen energia-aineenvaihdunta (Ylinen 1978). Metaanibakteereiden generaatioaika on nopeimmillaan n. 4,8 d, kun se haponmuodostaja-bakteereilla on 0,56 d. (Ghosh ja Pohland 1974).

3.2.2 Biomassan koostumus

Yksittäiset mikrobit pyrkivät reaktorissa muodostamaan flokkia, jonka ominaisuudet riippuvat reaktortyypistä. Suodattimissa mikrobiflokki kiinnittyy suodatinmateriaalin pintaan. Up-flow reaktoreissa kehittyvä flokki on raemaista ja sen laskeutumisominaisuudet ovat erittäin hyvät. Flokki muodostaa ylöspäin virtaavassa jätevedessä leijuvan liete-
patjan (Lettinga et al. 1980b).

Reaktorin biomassan määrää voidaan arvioida orgaanisen kuiva-aineen määrän perusteella (hehkutushäviö). Koska biomassan määrä vaikuttaa reaktorin kuormituskapasiteettiin, olisi sen huuhtoutuminen poistolietteen mukana pyrittävä estämään.

3.3 REAKTORIN TOIMINTAPARAMETRIIT

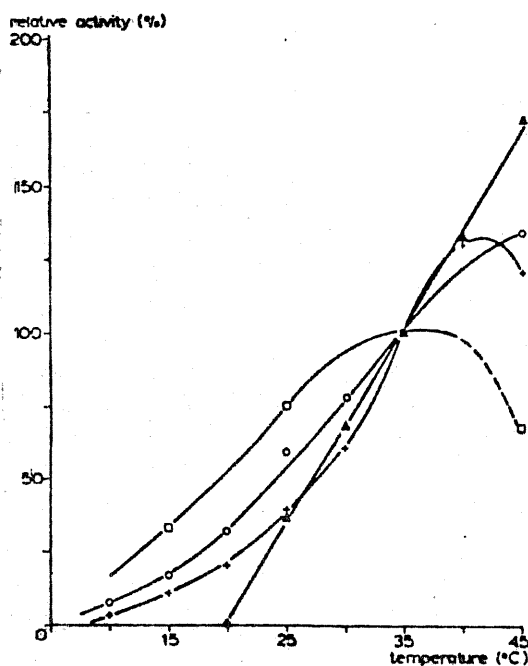
3.3.1 F y s i k a a l i s e t t e k i j ä t

Lämpötila

Mädätysprosessi on mahdollinen lämpötila-alueella 5...60°C. Kaasuntuotanto nopeutuu lämpötilan noustessa. Alle 20°C lämpötilassa kaasuntuotanto on erittäin vähäistä (Speece ja Kem 1970). Yleensä mädättämöt toimivat joko mesofiilillä (n. 35°C) tai termofiilillä (n. 55°C) lämpötila-alueella. Mesofiilit prosessit ovat yleisemmin käytössä mm. pienempien lämpöhäviöiden takia. Laimeahkojen jätevesien käsittelyä on UASB prosessilla kokeiltu myös matalissa (19-26°C) lämpötiloissa (Lettinga et al. 1980). Reaktorin orgaaninen kuorma on ollut tällöin n. 3-10 kertaa pienempi kuin 35°C:ssa. Kokeet tehtiin perunajätevedellä. Kuvassa 6 on eri lähteiden mukaan esitetty suhteellinen aktiviteetin lisääntyminen lämpötilan funktiona.

Mädättämön lämpötilan vaihtelu heikentää prosessin stabiiliisuutta ja vähentää kaasuntuotantoa. Lyhytaikaisen häiriön jälkeen kaasuntuotanto palaa kuitenkin melko nopeasti alkuperäiselle tasolle (Speece ja Kem 1970).

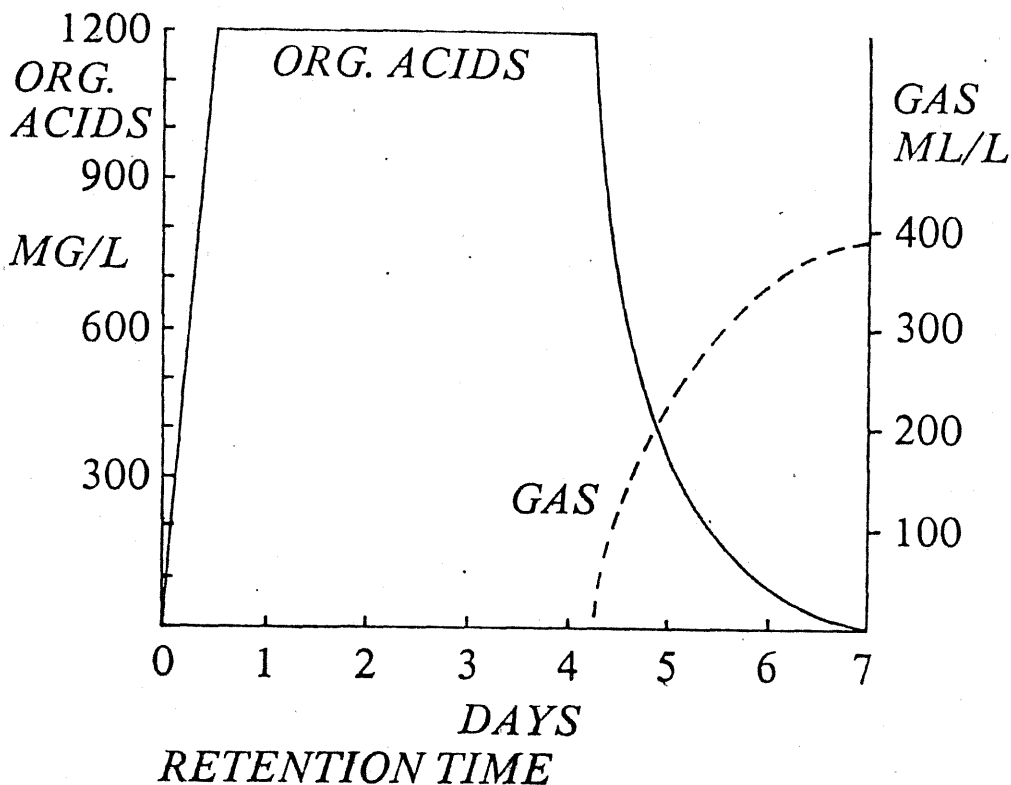
Jo 2-3°C äkillinen lasku mädättämön lämpötilassa vaikuttaa kaasuntuotantoon (Norha 1975). Mädättämön lämpötila olisi suositeltavaa pitää $\pm 2^{\circ}\text{C}$ tarkkuudella valitussa prosessilämpötilassa.



Kuva 6. Suhteellinen aktiviteetti lämpötilan funktiona eri lähteiden mukaan (Lettinga et al. 1979).

Viipymä

Metaanibakteereiden hitaan kasvunopeuden johdosta täyssekoitteisen reaktorin toiminta on mahdollista vain 4-5 d pitemmillä viipymillä. Muussa tapauksessa biomassan kasvu ei pysty korvaamaan poistuvan lietteen mukana häviävää bakteerimassaa (washout) ja prosessi joutuu happokäymistilaan.



Kuva 7. Täyssekoitteisen reaktorin orgaanisten happojen konsentraatio ja kaasun tuotanto viipymän funktiona; syötön COD 1400 mg/l (van Bellengen 1980).

Anaerobipuhdistuksen kehitys on viime vuosina perustunut suurelta osin biomassan viipymän pidentämiseen eri menetelmin (kontaktiprosessi, UASB, MABI, biologiset suotimet). Erittäin tehokkaaseen biomassan viipymään päästään UASB prosessilla (Lettinga et al. 1980b), jossa ylöspäin virtaava jätevesi muodostaa leijuvan lietepatjan, jossa mikrobitoiminta pääasiassa tapahtuu. Menetelmä soveltuu vain vähän kiintoainetta sisältävien jätevesien käsittelyyn, ja sillä on saavutettu hyviä tuloksia jopa 6-12 h hydraulisilla viipymillä. Lyhyt viipymä on edellytys suhteellisen laimeiden jätevesien (KHK 2000-5000 mg/l) taloudelliselle käsittelylle.

Pitkillä viipymillä saavutetaan suurempi orgaanisen aineen reduktio etenkin, jos kyse on orgaanisesta kiintoaineesta. Anaerobipuhdistamon suunnitteluvaiheessa pitää viipymä ja reaktorin kapasiteetti optimoida vaaditun puhdistustehon, syöttölietteen konsentrintikustannusten, nettoenergiantuotannon ja reaktorilietteen käsittelykustannusten perusteella.

Kuormitus

Reaktorin kuormitus ilmaistaan syötön orgaanisen aineksen määrän suhteena lietetilavuuteen tai lietemäärään. Käytettävät yksiköt ovat siis:

$$\begin{aligned} L_v &= \text{tilakuorma} \quad [\text{BHK}(\text{KHK}, \text{VS})/\text{m}^3\text{d}] \\ L_l &= \text{lietekuorma} \quad [\text{BHK}(\text{KHK}, \text{VS})/\text{kg MLSSd}] \end{aligned}$$

BHK ja KHK soveltuvat jätevesille, jotka sisältävät vähän kiintoainetta. Runsaasti kiintoainetta sisältävillä lietteillä on analyysiteknisistä syistä helpompi käyttää hehkutushäviötä (VS) kuvaamaan orgaanisen kuiva-aineen määrää. Vaikeasti hajojavan orgaanisen aineen osuus (ligniini, raakakuitu) olisi pyrittävä huomioimaan.

Reaktorien kuormitus vaihtelee varsin laajoissa rajoissa riippuen reaktortyyppistä. Liitteessä 1. on esitetty suuntaa-antavia kuormitusarvoja eri reaktortyypeille. Voidaan todeta, että laimeilla, vähän kiintoainesta sisältävillä jätevesillä saavutetaan suurempia tila- ja lietekuormia kuin konsentroiduilla lietteillä.

Sekoitus

Mädättämön sekoituksen tarkoituksena on saattaa syötetty liete tasaisesti ja tehokkaasti kosketuksiin reaktorin biomassan kanssa. Sekoituksen tulee estää kelluvan pintalietteen ja raskaan pohjalietteen muodostuminen sekä edistää lämmön siirtymistä lämmönvaihtimesta reaktorilietteeseen.

Puutteellinen sekoitus aiheuttaa kerrostumia, kuolleita kulumia ja virtauksen kanavoitumista, mitkä pienentävät reaktorin hyötytilavuutta. Liian voimakas sekoitus erityisesti nopeakierroksisilla kierrätyspumpuilla rikkoo mikrobiflokkia ja huonontaa palautuslietteen aktiviteettia (Pöpel 1967).

Sekoitus tapahtuu yleensä potkurisekoittimilla, kierrätyspumpuilla, kaasusekoituksena tai mekaanisella hämmenninkoneistolla. Kierrätyspumppujen haittana on em. mikrobiflokkien rikkoutuminen ja mahdollinen virtauksen kanavoituminen. Kaasusekoituksen tehokkuus sakeilla lietteillä on kyseenalainen mm. muodostuvien pintalietekerrosten johdosta. Hidas mekaaninen sekoitus on energiakustannuksiltaan edullisin, eikä siinä esiinny kaasutai pumppusekoitukselle ominaisia haittoja. Vaikeutena ovat lähinnä rakennetekniset ongelmat suurissa yksiköissä.

3.3.2 K e m i a l l i s e t t e k i j ä t

Tavallisimmat reaktorin seurannassa käytettävät parametrit ovat: pH, redoxpotentiaali, alkaliniteetti ja VFA (volatile fatty acids).

pH

Mädättämön toiminnan rajat eri lähteiden mukaan ovat noin pH 6,5-8,0, jolloin optimiolosuhteet ovat lähellä pH 7:ää. pH pyrkii nousemaan kuormitusta pienennettäessä ja laskemaan

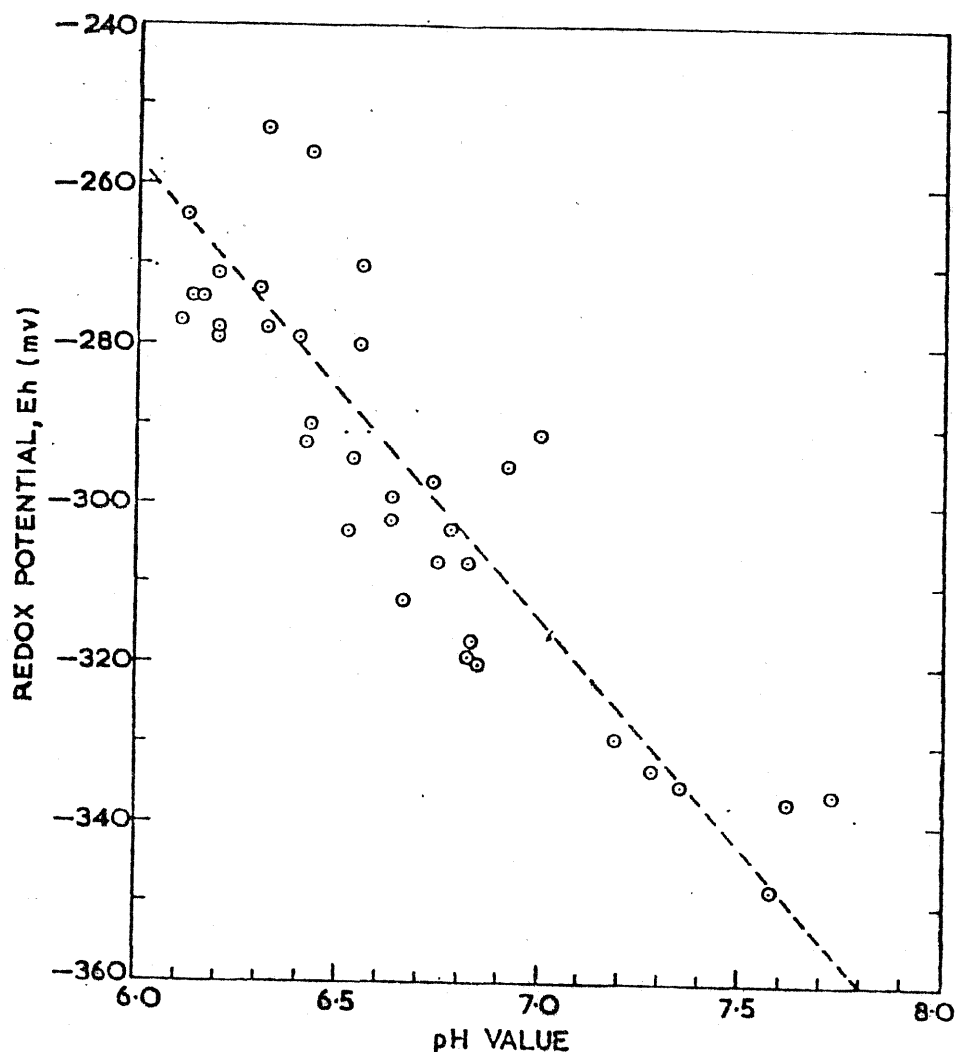
kuormitusta lisättäessä. pH:n jatkuva lasku osoittaa reaktorin toiminnassa tapahtuneen häiriötä. Matala pH ($< 6,5$) inhiboi metaanibakteereiden toimintaa. Tällöin hajotusketju häiriintyy ja välituotteena syntyviä happoja akkumuloituu reaktoriin. Tilanne saattaa johtaa pH:n romahtamiseen ja metaanintuotannon täydelliseen loppumiseen.

Mädättämön syöttö on tällöin keskeytettävä ja pH nostettava metaanibakteerien toiminta-alueelle lisäämällä reaktoriin esim. kalkkia tai soodaa.

Redoxpotentiaali

Redox-parin Eh-arvo (mV) mittaa elektroninsiirtopotentiaalia. Sen koko merkitystä mädättämön toiminnalle ei täysin tunneta, mutta mittaus on yleisesti käytössä mädättämöiden seurannassa. Redoxpotentiaali hyvin toimivassa mädättämössä on Dirasianin (1968) mukaan melko kapealla alueella: Eh 265-295 mV. Redoxpotentiaali riippuu myös jossain määrin vallitsevasta pH:sta (kuva 8).

Havaintojen mukaan redoxpotentiaalissa tapahtunut muutos indikoi pH:ta herkemmin prosessin häiriötilaa varsinkin, jos reaktorin puskurikapasiteetti on korkea. Redoxpotentiaalin kehittyminen on myös yhteydessä bakteerikannan tilaan käynnistysvaiheessa.



Kuva 8. Redoxpotentiaalin riippuvuus pH:sta (Dirasian 1963).

Haihtuvat rasvahapot (VFA)

Rasvahapot ovat haponmuodostusvaiheessa syntyviä välituotteita, joiden määrä kuvaa osaltaan prosessin tilaa. Rasvahappojen määrän kasvu reaktorissa osoittaa että metaanivaiheen bakteerikanta ei ehdi käyttää kaikkia muodostuvia rasvahappoja. Korkea VFA-konsentraatio inhiboi metaanibakteerien toimintaa, jolloin syötön jatkuminen johtaa nopeasti epätasapainoon.

Suurin sallittu happopitoisuus riippuu mädätysolosuhteista. Etenkin käynnistysvaiheessa happoinhibition vaara on suuri. Mabi-reaktorin on todettu perunajätteellä kestävänsä noin 2500 mg/l VFA-konsentraatioita. Oireita inhibitiosta on ilmennyt > 3000 mg VFA-konsentraatiolla.

Syötön lopettaminen ei aina ole riittävän tehokas keino palauttaa tasapaino reaktoriin. Toipumista voi nopeuttaa tuomalla uutta bakteerikantaa toimivalta mädättämöltä.

Alkaliteetti

Alkaliteetti kuvaa reaktorin puskurikapasiteettia ja se ilmoitetaan tavallisesti yksikössä mg CaCO_3 /l. Normaleina voidaan pitää arvoja 1500-5000 mg/l CaCO_3 /l (Ljungren ja Petr  1976). Brovko ja Chen (1977) suosittelevat 3500-5000 mg CaCO_3 /l bikarbonaattialkaliteettia ehkäisemään esim. tilapäisestä ylikuormituksesta aiheutuvia häiriötiloja.

Brovko ja Chen havaitsivat edelleen korkean bikarbonaattialkaliteetin korreloivan korkean energiantuotannon kanssa. Natriumbikarbonaatin lisäys on hyvä keino kohottaa mädättämön puskurikapasiteettia.

3.4 MÄDÄTETTÄVÄ MATERIAALI

3.4.1 Hajoamiskelpoisen orgaanisen aineen määrä

Anaerobitekniikan kannattavuus edellyttää, että jätteessä on riittävä määrä hajoamiskelpoista orgaanista ainesta, josta saatava energia kompensoi lietteen lämmittämiseen kuluvaan energian. Jätevesien orgaanisen aineen määrän selvittämiseen soveltuvat BHK ja KHK analyysit. Runsaasti kiintoainesta sisältävillä lietteillä analyysinä käytetään yleensä hehku-tushäviötä (VS). Vaikeasti hajoavat yhdisteet kuten ligniini, olisi pyrittävä huomioimaan. Jäte soveltuu mädätysprosessiin yleensä sitä paremmin mitä korkeampi on orgaanisen kuiva-aineen määrä. Pumppaus- ja sekoitustekniset syyt haittaavat kuitenkin yli 15 % kuiva-ainetta sisältävien lietteiden käsittelyä.

3.4.2 Ravinnetasapaino

Jätteessä on oltava riittävä määrä mikrobikannan kasvun edellyttämiä ravinteita, joista tärkeimmät ovat typpi ja fosfori. Ravinnesuhde BHK:N:P 500:5:1 on havaittu toivottavaksi mm. Anamet prosessissa (Frostell 1981). Optimina aerobiprosesseissa pidetään suhdetta 100:5:1. Ravinnevaatimukset anaerobiprosesseissa ovat siis etenkin typen osalta 2-10 kertaa pienemmät kuin aerobiprosesseissa.

Hills ja Roberts (1981) tutkivat C/N suhdetta ja totesivat optimiarvon olevan 25-30 kun orgaanisen hiilen määrästä oli vähennetty hajoamattoman ligniinin osuus. Mädätykselle tarpeellisia hivenaineita ovat mm. Na, Ca, K, Mg ja Fe.

3.4.3 Toksiset aineet

Monet raskasmetallit, klooratut hiilivedyt, antibiootit ja pesuaineet ovat haitallisia mädätykselle. Näitä esiintyy ennen muuta erilaisissa teollisuusprosesseissa. Taulukossa 2 on Kugelmanin ja Chinin (1980) keräämiä tietoja eräiden raskasmetallien myrkkykonsentraatiosta.

Taulukko 2. Anaerobikäsittelyssä esiintyviä raskasmetallien myrkkykonsentraatioita

| Metalli | Myrkyllinen konsentraatio (mg/l) | |
|---------|----------------------------------|------------|
| Kupari | 150 - 250 500 1000 | 150 - 1000 |
| Nikkeli | 200 1000 | 200 - 1000 |
| Sinkki | 1000 350 | 350 - 1000 |
| Kromi | 2000 200 | 200 - 2000 |

Anaerobiprosessin suunnitteluvaiheessa on selvitettävä mitä toksisia aineita saattaa joutua reaktoriin. Tietyn aineen tai yhdisteen toksisuuden määrittämiseen voidaan käyttää mm. BPA-testiä (Viitasalo 1980).

Taulukko 3. Yhteenveto jätteeltä vaadittavista ominaisuuksista

| Ominaisuus | Korvaava toimenpide |
|--|---|
| 1. Korkea orgaanisen aineen pitoisuus | konsentointi |
| 2. Ei sisällä haitallisessa määrin raskasmetalleja | sulfaattisaostus pienille raskasmetallimäärille |
| 3. Mielellään korkea lämpötila | jätelämpö, konsentointi |
| 4. Ei sisällä antibiootteja, kloorattuja hiilivetyjä, liuottimia | poistaminen usein mahdotonta |
| 5. Ravinnetasapaino BHK : N : P | ravinteiden lisäys |

3.5 REAKTORIN KÄYNNISTYS

Metaanibakteerien hitaan kasvunopeuden johdosta reaktorin käynnistäminen on melko hidas ja tarkkaa valvontaa vaativa toimenpide. Ylikuormittumisen vaara on suurin ensimmäisinä viikkoina, ja lopullinen adaptoituminen käsiteltävälle lietteelle tapahtuu 2-5 kk kuluessa.

Käynnistysvaiheessa pyritään luomaan metaanibakteereille mahdollisimman suotuisat kasvuolosuhteet lämpötilan, pH:n, ravinteiden ja syötettävän substraatin määrän suhteen. Vaikka metaanikäyminen voi päästä varsinkin eläinlannan mädätyksessä alkuun raaka-aineen sisältämistä metaanibakteereista on siemenlietteen eli ympin havaittu huomattavasti nopeuttavan käynnistystä. Käynnistys voi tapahtua esim. seuraavasti:

1. Reaktori täytetään vedellä, johon lisätään vähän raakaliettä. Orgaanisen aineen hajoaminen kuluttaa hapen reaktorilietteestä. Happokäymisen vaikutuksesta pH laskee.
2. pH nostetaan metaanibakteerien toiminta-alueelle ($> 6,5$) lisäämällä soodaa. Vapautuva CO_2 poistaa hapen reaktorin kaasutilasta. Soodan lisäys parantaa myös reaktorin puskurikapasiteettia.
3. Ympäri syötetään reaktoriin ja seurataan kaasuntuotannon kehittymistä ja reaktorin toimintaparametreja (pH, redoxpotentiaali, VFA, puskurikapasiteetti). Raakalietteen varovainen syöttö voidaan aloittaa.

Lettingan et al. 1980b) mukaan up-flow reaktorin käynnistyksessä käytettävä lietekuorma tulisi olla enintään $0,1-0,2 \text{ kg COD/kg MLSS d}$, kunnes VFA-konsentraatio on laskenut riittävästi. Ohjearvo soveltuu lähinnä jätevesille, jotka eivät sisällä kiintoainesta. Sikalalietteen mädätyksessä sopiva tilakuorma käynnistysvaiheessa on $0,8 \text{ kg VS/m}^3 \text{ d}$, jota voidaan 60-70 d kuluessa nostaa arvoon $4 \text{ kg VS/m}^3 \text{ d}$ (Fischer et al. 1981). Mabi-reaktorin käynnistysvaiheessa vaikutti n. $0,5 \text{ kg VS/m}^3 \text{ d}$ tilakuorma sopivalta ympin lisäyksen jälkeen. Kuormituksen lisäys mitoitusarvoon tulisi suorittaa tasaisesti noin 2-3 kuukauden kuluessa.

Taulukko 4. Up-flow reaktorin (420 m^3) käynnistysvaiheen kuormitus (Björndahl 1980).

| viikko | tilakuorma | kaasuntuotanto |
|--------|-----------------------------------|-------------------------|
| 1-2 | 1-2 $\text{kg COD/m}^3 \text{ d}$ | 5 m^3/h |
| 2-4 | 2-4 " | 10 " |
| 4-6 | 4-6 " | 15 " |
| 6-11 | 6-11 " | 25 " |

Reaktorin tarkka seuranta käynnistysvaiheessa on tärkeää, mikäli kokemuksia jätteestä on vähän. Riittävän kuvan saamiseksi olisi päivittäin mitattava ainakin syöttömäärä, kaasuntuotanto, CO_2 , pH ja redoxpotentiaali. VFA ja alkaliteetti on syytä analysoida kahdesti viikossa.

4. TEHTAAN PROSESSI

4.1 YLEISTÄ

Perunanjalostustehdas Börje Norrgård Ky sijaitsee Dagsmarkissa Kristiinankaupungissa. Noin 50 henkeä työllistävä tehdas on jatkuvatoiminen ja sen tärkeimmät tuotteet ovat ranskanperuna, kuorittu peruna, pariisinperuna, perunakroketit sekä pakattu raakaperuna. Toimintaa on tarkoitus laajentaa perunamuusihiutaleiden valmistuksella.

Raaka-aineena tehdas käyttää nykyään 15-20 t perunaa päivässä. Tuotanto on ollut noin 4-5 t ranskanperunaa, 4-5 t kuorittua perunaa ja noin 1 t pariisinperunaa päivässä. Vuonna 1981 tehdas käytti perunaa n. 8 000 t.

4.2 TUOTANTOLINJAT

Tehtaan päätuotantolinjat ovat ranskanperunalinja sekä kaksi kuorimalinjaa. Kaikilla linjoilla on oma kuorimakone, joilla suurin osa jätteestä syntyy.

Ranskanperunan valmistuksessa raakaperuna ohjataan kuorimaruun, joka mekaanisesti irrottaa perunan kuori- ja pinta-kerroksen. Kuorinnassa syntyvä jäte poistetaan vesihuuhtelulla.

Kuorinnan jälkeen perunat leikataan. Suuri osa leikkurilla syntyvästä perunajätteestä otetaan talteen ja myydään sika-loille. Leikattu peruna esikypsennetään rasvauunissa, jäähdytetään ja pakataan.

Kuorimalinjoilla raakaperuna kuoritaan samalla menetelmällä kuin ranskanperunalinjallakin. Lajittelun jälkeen peruna pakataan.

5. JÄTEVEDEN LAATU JA MÄÄRÄ

5.1 YLEISTÄ

Jäteveden laatua on pyritty selvittämään sekä tavanomaisin vesianalyysin että myös lähtien valmistusprosessista ja käytetyn raaka-aineen ominaisuuksista. Kemikaalien ja lisäaineiden käyttö prosessissa on vähäistä ja mekaaninen kuorinta ei muuta perunajätteen kemiallisia ominaisuuksia.

5.2 VEDEN KÄYTTÖ PROSESSISSA

Tehtaalla muodostuu jätevetä viitenä päivänä viikossa. Toiminta tapahtuu kahdessa vuorossa noin klo 8.00-20.30 välisenä aikana, mutta kysynnän huippuajankohtina saattaa osa prosessia olla käynnissä 01.00 saakka.

Vettä käytetään kuorimakoneilla, joilta syntyvä perunajäte poistetaan vesihuuhtelulla. Ranskanperunalinjan kuorimakonelle kierrätetään linjan leikkurilta tuleva huuhteluvesi.

Perunaraaka-ainetonnin kohti kulutettuja vesimääriä on onnistuttu vähentämään tehokkaasti prosessiteknisin keinoin, ja nykyinen vedenkulutus on vain n. 1 m³ jalostettua raakaperunatonna kohden. 1979 suoritetussa tutkimuksessa ominaiskulutus oli vielä n, 3.4 m³/t (Järvensivu 1980).

Vesimittarien mukaan vedenkulutus on ollut n. 10-20 m³/d. Havaintojakson 1-10.12 keskimääräinen vedenkulutus oli 16,8 m³/d. Ranskanperunalinjan osuus kulutuksesta on n. 60 %. Sosiaalitulojen jätevedet käsitellään erillään tehtaassa jätevesistä.

5.3 JÄTEVEDEN OMINAISUUDET

Tehtaalta tuleva jätevesi sisältää runsaasti orgaanista ja epäorgaanista kiintoainetta. Jäteveteen joutuvat kuorimavaiheessa perunan kuoriosaan jäänyt multa, kuoriaines sekä osa perunan tärkkelyksestä. Ranskanperunalinjan leikkurista jäteveeteen joutuu lähinnä tärkkelystä.

Taulukossa 5 on esitetty jäteveden keskimääräiset ominaisuudet havaintojaksolla. Jäteveden laatu on lähes sama riippumatta siitä käytetäänkö pitkään varastoitua vai uutta perunaa.

Taulukko 5. Tehtaassa jäteveden keskimääräinen koostumus havaintojaksolla 1-10.12.1981.

| analyysi | pitoisuus | kuormitus (5d/vko) |
|-------------------|----------------|------------------------|
| BHK ₇ | 15100 mg/l | 250 kg/d |
| BHK ₂₄ | 23000 " | 390 " |
| KHK _{Mn} | 7000 " | 120 " |
| KHK _{Cr} | 33600 " | 560 " |
| N _{kok} | 590 " | 9,0 " |
| P _{kok} | 100 " | 1,7 " |
| TS | 5,21 %-pain. | 880 " |
| VS | 4,59 " | 770 " |
| h lask. | 470 ml/1000 ml | - |
| Q kesk | | 16,8 m ³ /d |

Jäteveteen joutuvien kemikaalien määrä on melko vähäinen. Runsasta vaahtoamista joudutaan ajoittain torjumaan vaahtonestoaineella (VALKE E 15). Perunoiden varastoidäntää ehkäistään kevättalvella idunestoaineella (Pulsfog K), jonka vaikutus perustuu metyleenikloridiin.

5.4 JÄTEVEDEN KOOSTUMUS RAAKA-AINEEN OMINAISUUKSIEN PERUSTEELLA

5.4.1 Perunan koostumus

Raakaperunan koostumus on todettu melko samanlaiseksi sekä ulko- että kotimaisissa tutkimuksissa. Talburtin et al. (1976) mukaan perunan koostumus on taulukon 6 mukainen.

Taulukko 6. Perunan koostumus (Talburt et al. 1976)

| | % painosta | vaihteluväli |
|----------------|------------|--------------|
| vesi | 77,5 | 63,2-86,9 |
| TS | 22,5 | 13,1-36,8 |
| proteiinit | 2,0 | 0,7- 4,6 |
| rasvat | 0,1 | 0,02-0,96 |
| hiilihydraatit | | |
| - kok. | 19,4 | 13,3-30,5 |
| - raakakuitu | 0,6 | 0,17-3,48 |
| tuhka | 1,0 | 0,44-1,90 |

Smithin (1968) mukaan peruna sisältää keskimäärin 1-2 % typpeä. Taulukossa 7 on arvioitu eräitä perunan sisältämiä hivenainemääriä. Näiden suuri vaihtelu johtuu maaperän ja lannoituksen vaikutuksesta.

Taulukko 7. Eräitä perunan sisältämiä hivenainemääriä, Smith (1968)

| | | | |
|----|-----------|-------|----------------|
| P | 43-605 | p.p.m | kuiva-aineesta |
| Ca | 10-120 | " | " |
| K | 1394-2825 | " | " |
| Mg | 46-216 | " | " |

Jäteveteen joutuvan peruna-aineksen raakakuitumäärä on suurempi kuin em. taulukoitten osoittama arvo. Mabi-ryhmän esitutkimuksen mukaan raakakuitumäärä tehtaassa jätevedessä on n. 11 % kuiva-aineesta. Muilta osin jäteveden orgaanisen aineen koostumus vastaa melko hyvin raakaperunan koostumusta.

5.4.2 R a a k a - a i n e e n s o v e l t u m i n e n m ä d ä t y s p r o s e s s i i n

Lietteen syöttö reaktoriin tapahtuu rumpusiivilästä sekä selkeytysaltaasta. Lietteet eroavat toisistaan melko paljon. Rumpusiivilä erottaa jätevedestä karkeimman aineksen, mm. kuoriosan, jolloin lietteen raakakuitumäärä on melko suuri. Selkeytysaltaasta pumpattavan raakalietteen raakakuitumäärä on huomattavasti pienempi, vain n. 3-4 % kuiva-aineesta. Orgaanisen kuiva-aineen osuus on n. 90 % ja se koostuu lähes kokonaan perunan tärkkelysosasta. N. 1/3 reaktorin VS-kuormituksesta syötettiin selkeytysaltaasta.

Edellisen perusteella voidaan arvioida syötön sisältäneen seuraavia ainemääriä.

Taulukko 8. Reaktoriin syötetyn lietteen arvioitu koostumus.

| | |
|-----------------------|-------|
| 1000 g TS | 100 % |
| 890 g VS | 89 % |
| 630 g hiilihydraatit | 63 % |
| 140 g raakakuitu | 14 % |
| 80 g proteiini | 8 % |
| 10 g rasvat | 1 % |
| 10 g N _{kok} | 1 % |
| 20 g muut aineet | 2 % |

Perunaraaka-aineen ominaisuuksien perusteella arvioitu lietteen C/N suhde on 30-40. Kun vaikeasti hajoavan kuoriaineksen osuus otetaan huomioon päästään varsin lähelle optimiolosuhteita. Pieni typen lisäys saattaa kuitenkin olla tarpeen. Hivenaineiden osalta varsinkin Ca ja Mg määrät ovat raakaperunassa melko alhaisia. Sopiva lisäännostus reaktoriin on luokkaa 100-150 g/m³d.

6. PUHDISTUSPROSESSI JA SEN SEURANTA

6.1 YLEISTÄ

Jättemäärien kasvaessa ja jäteveden muuttuessa yhä konsentroidummaksi vanha sakokaivoihin ja aerobiin panosprosessiin perustuva puhdistamo kävi tarkoitukseen sopimattomaksi. Uudelle puhdistamolle asetettiin tavoitteeksi korkea puhdistusteho BHK-kuorman suhteen, perunajätteen hyötykäyttömahdollisuus sekä taloudellisuus. Eri vaihtoehtojen teknistaloudellisessa vertailussa päädyttiin siihen, että soveltamalla anaerobitekniikkaa jäteveden sisältämän orgaanisen kiintoaineen käsittelyyn päästään lähimmäksi asetettuja tavoitteita. Tehtaalle rakennettiin mm. SITRA:n tuella MABI-biokaasureaktori, jolla perunajätteestä tuotetaan biokaasua ja samalla saavutetaan hyvä BHK- ja orgaanisen kuiva-aineen reduktio.

Vesihallituksen lausunnossa edellytetään BOD₇-kuormituksen rajoittamista arvoon 10 kg BHK₇/d neljännesvuosikeskiarvona mitattuna, mikä vastaa 96 % reduktiota puhdistamolla.

6.2 PUHDISTAMON TOIMINTAPERIAATE

Tehtaalta tuleva, runsaasti orgaanista kiintoainetta sisältävä jätevesi johdetaan pumppaamoon, josta rajapintaohjattu pumppu nostaa jäteveden rumpusiivilälle. Rumpusiivilä erottaa jätevedestä karkeimman kiintoaineksen suoraan reaktoriin. Rejekti johdetaan selkeytysaltaaseen, josta selkeytynyt vesi menee aktiivilietepuhdistamoon. Laskeutunut liete pumpataan reaktoriin. Reaktorista poistuva liete on tarkoitettu hyödyntää maanparannusaineena.

Syntyvä biokaasu johdetaan varastosäkin tasaamana Fiat-Totem polttomootorigeneraattoriin, joka tuottaa lämpöä ja sähköä tehtaan tarpeisiin. Puhdistamon prosessikaavio on esitetty liitteessä 2.

Puhdistamon toimintaa käsitellään seuraavassa vaihe kerrallaan alkaen rumpusiivilästä. Osaprosesseista on esitetty tekniset ominaisuudet ja mitoitusotaksumat sekä selvitetty puhdistusteho ja toiminnassa esiintyneet ongelmat. Lopussa on laadittu yhteenveto koko prosessin yhteistoiminnasta ja arvioitu mahdollisia tehostustoimenpiteitä.

6.3 TUTKIMUSMENETELMÄT

6.3.1 Tutkimusohjelma havaintojaksolla

Jätevedenpuhdistamon kuormituksen, puhdistustehon ja energiataseen selvittämiseksi suoritettiin kymmenen vuorokauden havaintojakso 1.-10.12.1981. Eri osaprosessien merkitys puhdistamon toiminnalle pyrittiin selvittämään järjestämällä näytteenotto ennen ja jälkeen jokaisen osaprosessin.

Päähuomio kiinnitettiin tavanomaisiin vesiensuojelun valvontaparametreihin. Tavoitteena oli myös selvittää ainetaseet virtaamien sekä orgaanisen ja epäorgaanisen kuiva-aineen suhteen. Reaktorin osalta selvitettiin lisäksi tärkeimpiä toimintaparametreja, kaasuntuotantoa ja kaasun laadun vaihteluita hiilidioksidipitoisuuden perusteella. Puhdistamon energiatase selvitettiin mittaamalla päivittäin tuotettu ja kulutettu sähköenergia.

Havaintojakson ajankohta oli puhdistamon toiminnan kannalta hieman liian aikainen. Reaktorin käyntiinajossa ei vielä oltu saavutettu täyttä kapasiteettia, ja ilmastusyksikön tehostamistoimenpiteitä ei oltu suoritettu, joten puhdistustulos jäi melko heikoksi.

6.3.2 Näytteenotto ja analyysimenetelmät

Virtaamien mittaus

Tehtaan käyttämä prosessivesimäärä luettiin päivittäin vesimittareista. Tulopumpun käyntikertamittarin mukaan määritettiin rumpusiivilän käyntikerrat, joista reaktoriin jakautuva virtaama mitattiin astiamittauksella. Virtaamien jakautuma määritettiin myös kuiva-ainetaseen perusteella.

Näytteenotto

Kokoomanäytteet tehtaalta tulevasta jätevedestä sekä eri osaprosesseista koostuivat 6-7 osanäytteestä. Näytteet eivät olleet virtaamapainotteisia. Jäteveden sisältämä karkea kiintoaine esti automaattisen näytteenottimen käytön. Reaktorin pH ja redoxpotentiaali määrättiin reaktorin keskeltä otetusta kertanäytteestä. VFA määritettiin sekä reaktorin keskeltä että reaktorin poistolietteestä.

Jätevesianalyysit

Jätevesianalyysit (BHK, KHK_{Mn}, P, N, TS, VS) suoritettiin Vaasan vesipiirin laboratoriossa standardimenetelmin. Reaktoriin syötettävä liete homogenisoitiin ennen analyysijä. Tehtaalta tulevan jäteveden näytteitä ei havaintojaksolla

homogenisoitu koska kesällä suoritettun vertailun perusteella homogenisoinnilla ei ollut merkittävää vaikutusta tuloksiin. Reaktorin toimintaparametrit pH, redox, VFA ja alkaliteetti määritettiin tehtaalla. VFA:n ja alkaliniteetin analyysimenetelmänä käytettiin Di Lallon (1961) esittämää happo-emästitrausta, joka yksinkertaisuutensa vuoksi sopii hyvin mädättämön jatkuvaan valvontaan.

Kaasumittaukset

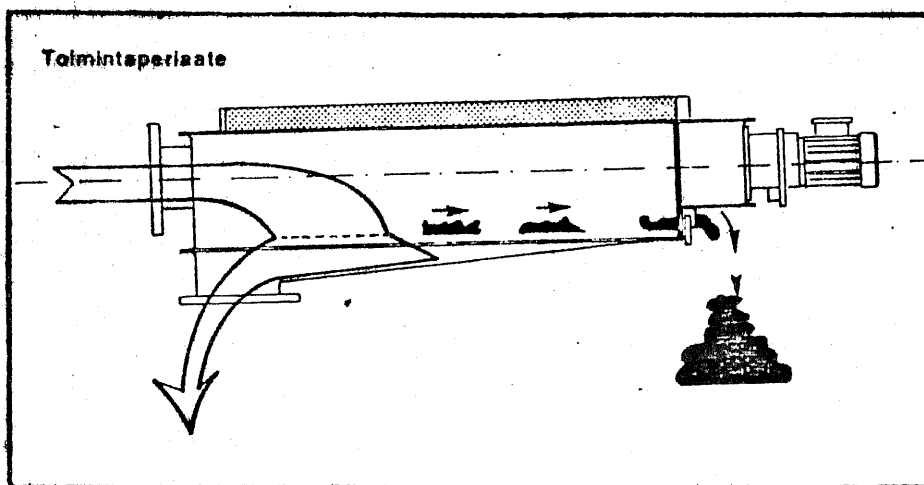
Hyödynnetyt kaasumäärät mitattiin virtausmittarilla. Reaktorista tulevat hetkelliset kaasumäärät mitattiin kaasusäkin täyttymisnopeuden perusteella. Varastosäkistä kaasumittariin tulevan kaasun lämpötila oli arviolta -5°C – 0°C ja paine 2–4 kpa, joten olosuhteet olivat hyvin lähellä NTP:tä.

Kaasun hiilidioksidipitoisuus mitattiin menetelmällä, jossa kaasunäyte otetaan 100 ml injektioruiskuun. Tulpan läpi lisätään n. 3 ml 15 % KOH liuosta, johon hiilidioksidi liukenee. Hiilidioksidin tilavuusosuus voidaan lukea ruiskun asteikolta. Metaanipitoisuus on arvioitu olettamalla, että tilavuudesta 2 % on muita kaasuja.

Kaasun tilavuuden mittauksen virhelähteinä ovat mm. lämpötila ja vesihöyryn osuus. Kun kaasun lämpötila on esim. 30°C , on virhe n. +10 %. Mittauslämpötilan vaikutus näkyi Totemgeneraattorin kulutuslukemissa kesä- ja talviajan arvojen erona. Kesällä kulutus oli ajoittain $10,2 \text{ m}^3/\text{h}$ kun talvella mitatut arvot olivat n. $9,5 \text{ m}^3/\text{h}$. Havaintojaksolla mitattujen kaasumäärien virhearvio on hyödynnetyn kaasun osalta $\pm 5 \%$ ja kokonaiskaasumäärän osalta $\pm 10 \%$.

6.4 RUMPUSIIVILÄ

Tulokaivosta jätevesi pumpataan Finn-Clean 4001-rumpusiiviläle, joka on varustettu 1,0 mm siivilälevyllä. Rumpusiivilän puhdistusautomaattikka huuhtelee rummun jokaisen käyntikerran jälkeen. Rummun kierrosluku on n. 20r/min ja kehänopeus 0,5 m/s. Tulopumpun kapasiteetti on n. 100 l/min, ja kertaikäynnillä pumpattu vesimäärä 200–250 l.



Kuva 9. Finn-Clean rumpusiivilän toimintaperiaate.

Rumpusiivilä poistaa jätevedestä karkeimman aineksen ja ohjaa sen suoraan reaktoriin. Mabi-ryhmän esitutkimuksessa todettiin, että jäteveden sisältämä karkea kuoriaines heikentää selkeytymisominaisuuksia muodostamalla huokoisen tukirakenteen. Rumpusiivilän erotuskyky on melko heikko, mutta rejektiin jäävä kiintoaines laskeutuu hyvin ja voidaan erottaa selkeyttämällä.

Taulukko 9. Virtaaman jakautuminen rumpusiivilässä 1.-10.12.1981
Ø 1,0 mm siivilä

| | TS % | VS % | BHK ₇ mg/l | virtaama l/s | TS-jakautuma % |
|---------|---------|---------|--------------------------|-----------------|-------------------|
| Syöttö | 5,2 | 4,6 | 15100 | 100 | 100 |
| Kakku | 7,8 | 6,9 | 19900 | 20 | 30 |
| Rejekti | 4,7 | 4,1 | 11200 | 80 | 70 |

Rumpusiivilän ja selkeytysaltaan yhteistoiminta on erittäin tärkeää biologisten prosessien toiminnalle. Sekä reaktorin, että ilmastusyksikön mitoitus on melko tiukka, joten suhteellisen pienikin muutos virtaaman ja kuormituksen jakautumisessa voi aiheuttaa ylikuormittumista ja puhdistustehon heikkenemistä.

6.5 SELKEYTYS

Rumpusiivilän rejekti johdetaan selkeytysaltaaseen, josta selkeytynyt vesi menee aktiivilietepuhdistamoon. Laskeutunut liete pumpataan reaktoriin.

Selkeytysallas on dortmund-tyyppinen pystylaskeutusallas, joka on varustettu rauhoitussylinterillä ja hammastetulla ylivuotoreunalla. Altaan tilavuus on 12 m³ ja pinta-ala 5 m². Liete pyritään poistamaan öisin ja viikonloppuisin, jotta reaktoriin saataisiin tasaisempi syöttö. Selkeytysaltaan viipymä on 0,6-0,9 d vastaten virtaamia 13-19 m³/d. Pinta-kuorma on suurimmillaan n. 0,4 m³/h.

Selkeyttämöön tulevan jäteveden BHK₇ oli havaintojaksolla keskimäärin 11200 mg/l ja selkeytyneen veden 3400 mg/l. Havaintojen mukaan selkeyttämällä ei jäteveden konsentraatiota voida pienentää alle n. 2500 mg BHK₇/l.

Tehtaan jätevesi selkeytyy melko nopeasti, mutta lietteen volyymi jää suureksi johtuen suurten partikkelien muodostamasta tukirakenteesta. Rumpusiivilän jälkeen jätevesi sisältää pääosin pienirakeista tärkkelysainesta, joka muodostaa selkeytyksessä nopeasti tiiviin lietesakan.

Selkeyttämö on mitoitettu hydrauliikaltaan väljästi ja on tehtaan laajennusvaihehtakin ajatellen riittävä. Pahimmat ongelmat toiminnassa aiheutuivat laskeutuneen lietteen poistosta. Tärkkelyssakka tiivistyy erittäin tehokkaasti muodostaen vaikeasti pumpattavia kerrostumia. Tiivistyneen lietteen kuiva-ainepitoisuus voi olla 10-20 %.

Laskeutuvan lietteen liiallisen tiivistymisen lisäksi myös pH:n muuttuminen selkeytysaltaassa aiheuttaa ongelmia. Tehaan jäteveden pH on 6,0-6,7, mutta selkeytysaltaasta pumppattavan lietteen pH saattaa laskea jopa 4,5:een, mikä haittaa reaktorin toimintaa. pH:n lasku selkeytysaltaassa johtuu liian pitkästä laskeutuneen lietteen viipymästä.

6.6 AKTIIVILIIETELAITOS

6.6.1 M i t o i t u s

Puhdistamo on teräsrakenteinen Oxigest 10 A 12 puhdistamo, joka on alunperin suunniteltu toimimaan pitkäilmastuslaitoksena asumajätevesiä käsiteltäessä. AVL alkuperäisillä ilmastimilla on 145-180, joka vastaa n. 13 kg BOD₇/d kuormitusta. Ilmastusaltaan tilavuus on 45 m³ ja selkeytysosan tilavuus 8 m³ ja pinta-ala 6 m².

Kapasiteettia on pyritty nostamaan ilmastusta tehostamalla. Nykyiset ilmastimet on mitoitettu 32 kg BOD₇/d kuormitukselle seuraavasti:

| | |
|---------------------|--|
| Virtaama | 20 m ³ /d |
| Kuormitus | 32 kg BHK ₇ /d |
| Lietekuorma | 0,25 kg BHK ₇ /kg MLSS d |
| Tilakuorma | 0,65 kg BHK ₇ /m ³ d |
| Lietepitoisuus | 3 kg MLSS/m ³ |
| Hapentarve | 30 kg O ₂ /d |
| Hapetuskapasiteetti | 60 kg O ₂ /d |
| Ilmamäärä | 2,6 m ³ /min (upotussyvyys 4,0 m) |

Nykyisten ilmastimien ilmamäärä on käytännössä 2,1 m³/min, upotussyvyys 2,8 m ja ilmastimet ovat lähinnä karkeakupla-tyyppiä. Hapetuskapasiteetiksi voidaan arvioida:

$$O_c = 126 \text{ m}^3/\text{h} \times 4 \text{ g O}_2/\text{m}^3 \times 2,8 \text{ m} = 34 \text{ kg O}_2/\text{d}$$

Hapetuskapasiteetti on noin puolet vaaditusta. Syynä ovat suunniteltua pienempi ilmamäärä ja upotussyvyys.

6.6.2 T o i m i n t a

Aktiivilietelaitoksen toiminnassa on ollut vaikeuksia lähes koko tutkimuksen ajan. Pääsyyksi on todettu hapetustehon riittämättömyys. Ilmastusaltaan kuormitus on vaihdellut välillä 25-60 kg BHK₇/d. Happipitoisuus ilmastusaltaassa on ollut 0,9-0,1 mg O₂/l kuormituksesta riippuen. Hapen puute on luonnollista ottaen huomioon suunniteltua pienemmän hapetuskapasiteetin. Hapenpuute ilmeni hajuhaittoina ja lietteen tummana värinä. Bakteerikannan menettäessä toimintakykynsä altaan pH laski n. 4,3:een ja vaahtoaminen oli erittäin voimakasta. Puhdistusteho laski tällöin lähes nol- laan. Reaktorin moitteeton toiminta on edellytyksenä aerobiyksikön toiminnalle. Heinäkuun alussa noin puolet puhdistamon virtaamista ajettiin reaktoriin. Tällöin aktiivilietelaitoksen kuormitus laski niin pieneksi, että tyydyttävät tulokset saavutettiin. Tilannetta kuvaa tau- lukko 10. Tätä edelsi kesäkuussa suoritettut huoltotoimen- piteet: ilmastimien säätö, pohjalietteen poisto sekä ympin

tuonti Kauhajoen puhdistamolta. Happipitoisuus oli kriittisen 0,5 mg/l yläpuolella, mutta ei ylittänyt 0,9 mg/l, mikä osoittaa hapetuskapasiteetin olleen alarajoillaan. Virtaama oli n. 8 m³/d, joka vastaa 6-7 d viipymää ilmas-
tusaltaassa. Lietepitoisuus oli n. 6 kg TS/m³.

Taulukko 10. Aktiivilietelaitoksen toiminta heinäkuussa 1981.

| Analyysi | Tuleva | | Lähtevä | | reduktio % |
|--|--------------|----------------|--------------|----------------|---------------|
| | pit. mg/l | kuorma kg/d | pit. mg/l | kuorma kg/d | |
| BHK ₇ | 3000 | 24 | 75 | 6,0 | 97 |
| N | 220 | 1,8 | 160 | 1,3 | 27 |
| P | 46 | 0,37 | 26 | 0,21 | 43 |
| Lietekuorma 0,1 kg BHK ₇ /kgTS | | | | | |
| Tilakuorma 0,5 kg BHK ₇ /m ³ d | | | | | |

6.7 MABI-REAKTORIN TOIMINTA

6.7.1 Y l e i s t ä

Reaktorin toiminta tutkimusaikana jakaantui kahteen jaksoon, jotka erotti hämmenninkoneiston vaurion aiheuttama prosessi-
häiriö. Ensimmäinen käyntiinajo suoritettiin huhti-kesäkuussa. Jaksolle oli ominaista, että syöttö tapahtui pääasiassa 0,7 mm siivilälevyllä varustetun rumpusiivilän kautta, jolloin syötön kuiva-ainepitoisuus oli pienempi ja virtaamat suuremmat kuin toisella toimintajaksolla. Syksyllä syöttö tapahtui käynnistytksen alkuvaiheessa selkeytysaltaasta pump-
paamalla. Rumpusiivilä otettiin käyttöön, kun reaktorin kapasiteetti oli kehittynyt riittävän korkeaksi.

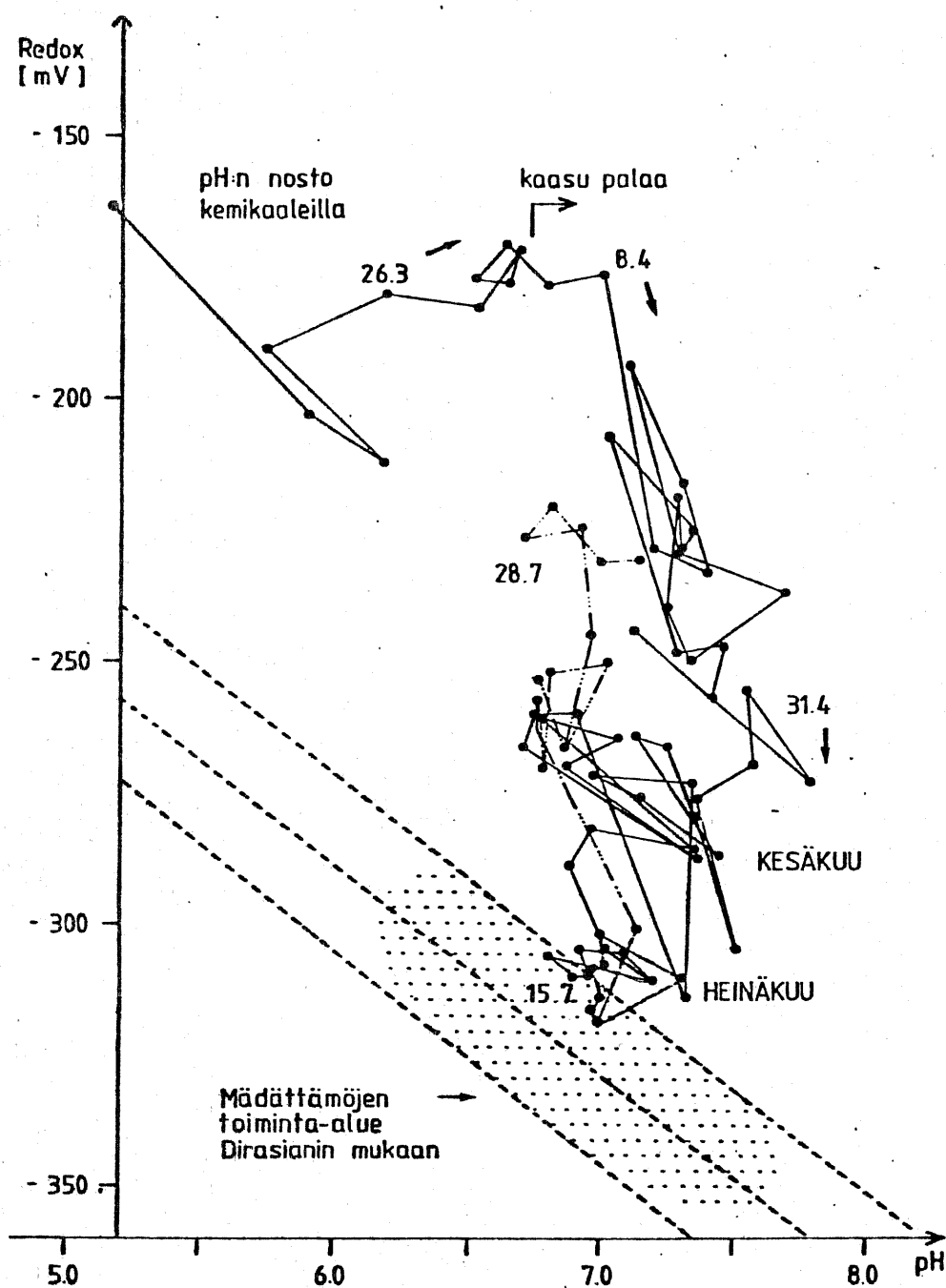
6.7.2 E n s i m m ä i n e n k ä y n t i j a k s o

Reaktorin toiminnan voidaan katsoa alkaneen huhtikuun alussa, jolloin suoritettiin onnistunut kaasun koepoltto. Metaanin tuotanto alkoi, kun pH nostettiin n. 6,5:een lisäämällä soodaa. Kuvassa 10 on esitetty pH:n ja redoxpotentiaalin kehitys ensimmäisellä käyntijaksolla.

Tarkkaa seurantaa syöttömääristä ja kaasuntuotannosta ei keväällä suoritettu. Heinäkuussa tilanne oli kuitenkin liki-
main taulukon 11 mukainen.

Taulukko 11. Reaktorin likimääräiset toimintaolosuhteet kesä-heinäkuun 1981 aikana

| | |
|----------------|---------------------------|
| syötön TS | 6 % |
| virtaama | 5-7 m ³ /d |
| TS kuormitus | 300-400 kg TS/d |
| reduktio (VS) | 80 % |
| viipymä | 16 d |
| kaasuntuotanto | 130-170 m ³ /d |



Kuva 10. pH:n ja redoxpotentiaalin kehitys ensimmäisellä käyntijaksolla. Hämmenninvaurion jälkeinen tilanne on kuvattu katkoviivalla (-...-...-...-...).

Kaasun hyväksikäyttöä vaikeutti kaasun laadun suuri vaihtelu. Hiilidioksidipitoisuus nousi iltapäivisin niin korkeaksi, että kaasu ei palanut generaattorissa. Syynä oli syötön epätasaisuus. Selkeytsaltaan liete jouduttiin poistopumpun puuttuessa poistamaan loka-autolla, joten reaktorin syötön tasaamista ei voitu suorittaa.

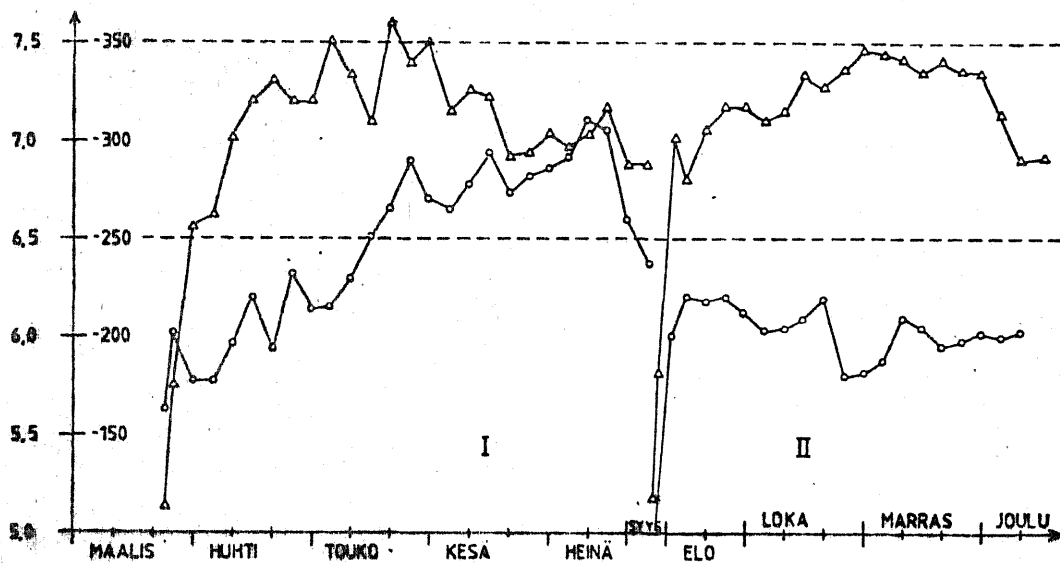
Heinäkuun puolenvälin jälkeen kaasun laadussa tapahtui muutos huonompaan suuntaan. Samalla redoxpotentiaali nousi n. -310 mV:sta -220 mV:iin. Heinäkuun lopulla havaittiin, että reaktorin hämmenninkoneistossa oli tapahtunut vaurio, jonka seurauksena hämmennys ja palautusmekanismi ei toiminut. Korjaustöiden takia reaktori jouduttiin tyhjentämään.

Reaktorin seurannan kannalta merkittävää oli, että vaurio havaittiin kaasun laadun ja redoxpotentiaalin heikkenemisenä. Selvää laskua pH:ssa ei tapahtunut. Tämä vahvistaa aikaisempaa käsitystä, jonka mukaan pH on melko epäherkkä prosessin indikaattori, mikäli reaktorin puskurikapasiteetti on normaalilla tasolla. Redoxpotentiaalin ja kaasun hiilidioksidipitoisuuden nousun syy on aina pyrittävä selvittämään ja poistamaan jo ennen kuin mädättämön pH:ssa tapahtuu muutoksia. Kuvassa 10 on esitetty pH:ssa tapahtuneet muutokset heinäkuussa; oletettu hämmenninvaurion ajankohta on tämän perusteella n. 15.7.

6.7.3 T o i n e n k ä y n t i j a k s o

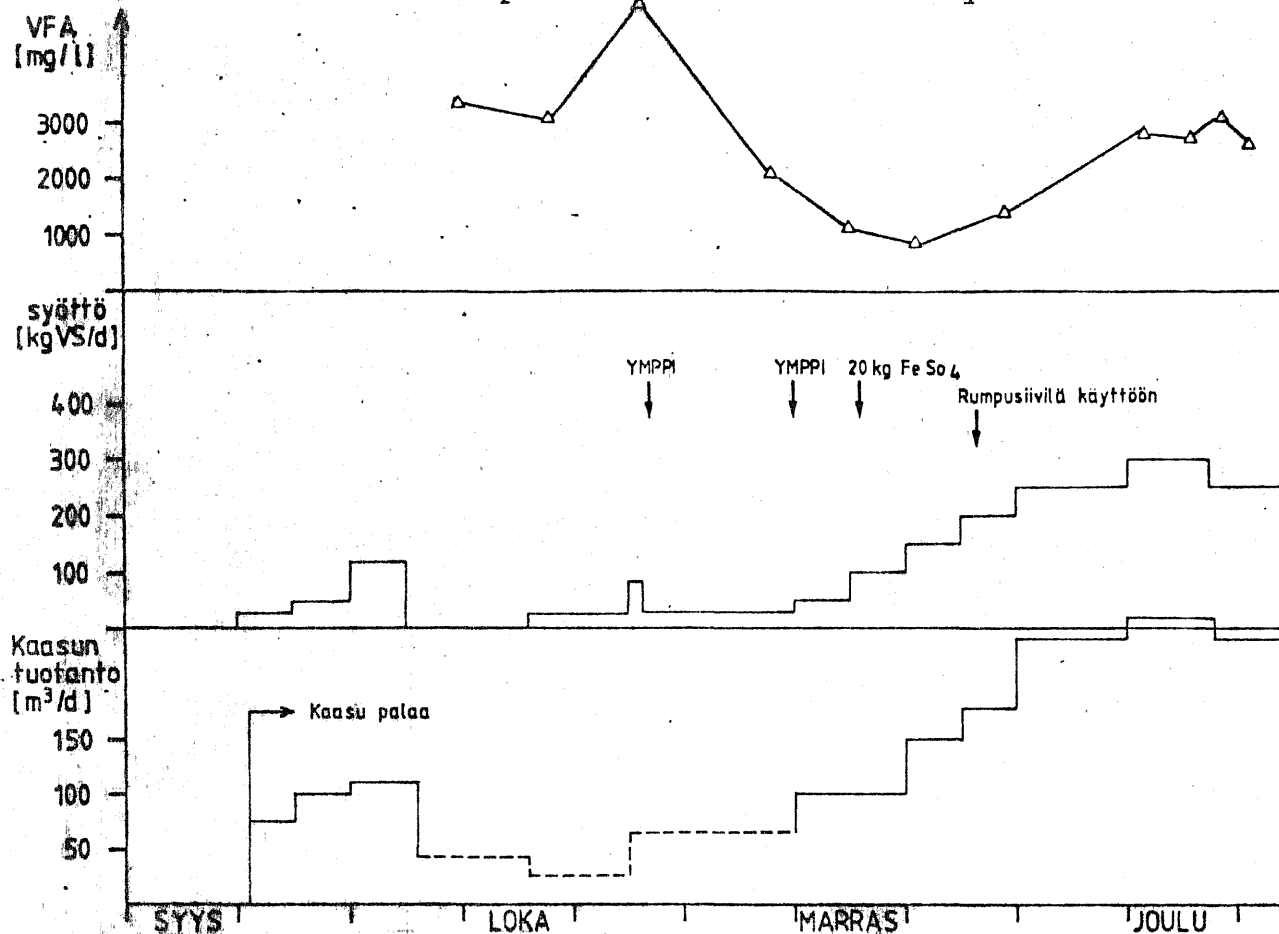
Käynnistys

Reaktorin käyntiinajo aloitettiin syyskuun alussa, jolloin reaktori täytettiin vedellä. Ymppinä käynnistysvaiheessa käytettiin 18 m³ avoimessa varastoaltaassa säilytettyä lietettä, joka oli varastoitu reaktorin tyhjennyksen yhteydessä heinä-elokuun vaihteessa. Palavaa kaasua saatiin 11.9. ja n. 120 m³/d kaasuntuotanto saavutettiin 23.9. Syyskuun lopulla ilmeni vaikeuksia kaasun laadun suhteen. Syynä oli ilmeisesti liian nopean syöttömäärien lisäyksen aiheuttama VFA-inhibitio. Syöttömääriä pienennettiin ja bakteerikantaa piristettiin tuomalla kaksi 5 m³:n erää ymppeä sikalalietteen mädättämöstä lokakuun loppupuolella. Marraskuun alussa VFA-pitoisuus laski n. 1000 mg/l:aan, ja reaktorin kehitys alkoi edetä nopeasti. Rumpusiivilä otettiin käyttöön 16.11. ja n. 20.11. alkaen kaasuntuotanto on ollut yli 200 m³/d. Havaintojakso puhdistamon toiminnasta suoritettiin 1.-10.12.1981. Reaktorin toiminta ei ollut vielä lopullisesti stabiloitunut, mikä ilmeni mm. kuormitusherkyytenä ja alhaisena redoxpotentiaalina.



Kuva 11. pH:n ja redoxpotentiaalin kehitys reaktorin käynnistysjaksoilla I ja II

Havaintojaksolla reaktorin sekoitus toimi jaksolla 30 min (selkeytys)/ 15 min (palautus), jolloin hämmenninkoneisto teki yhden kierroksen noin 50 minuutissa. Tämä vastaa 4-5 m³:n palautuslietemäärää, joten kierrätysuhde oli n. 100 %. Reaktorin lämpötila oli keskeltä otetuissa näytteissä 35°C + 1°C. Yhteen-veto reaktorin toimintaparametreista on esitetty liitteessä 4.



Kuva 12. VFA, syöttömäärät ja kaasuntuotanto toisella käyntijaksolla

Raakalietteen syöttö

Syöttö tapahtui tehtaan käyntiaikana rumpusiivilästä, joka erotti jäteveden karkeimman kiintoaineksen suoraan reaktoriin. Selkeytysaltaaseen laskeutunut liete pyrittiin pumpaamaan reaktoriin öisin ja viikonloppuisin. Rumpusiivilästä syötetty liete oli tasalaatuista ja sen kuiva-ainepitoisuus oli n. 8 % TS. Selkeytyksestä pumpattavan lietteen laatu vaihteli erittäin paljon, johtuen tärkkelyssakan selkeyttämöön muodostamista tiiviistä kerrostumista. Virtaamien ja kuiva-ainepitoisuuden tarkka määrittäminen oli hyvin vaikeaa, minkä vuoksi reaktorin syöttömäärien virhearvio on luokkaa ± 10 %.

Taulukko 12. Reaktorin syöttömäärät havaintojaksolla 1.-10.12.1981

| syöttö | keskiarvo | vaihteluväli |
|--------|-----------------------|--------------|
| Q | 4,0 m ³ /d | 2,9-5,3 |
| TS | 320 kg/d | 230-420 |
| VS | 280 kg/d | 200-370 |

Taulukko 13. Reaktorin kuormitus havaintojaksolla

| tilakuorma (V = 95 m ³) | lietekuorma (W = 3500 mg VS) |
|---|---------------------------------|
| 3,4 kg TS/m ³ d | 0,09 kg TS/kg VS d |
| 2,9 kg VS/ " | 0,08 kg VS/ " |
| 2,0 kg KHK _{Cr} / " 1) | 0,05 kg KHK _{Cr} / " |
| 4 kg KHK/ " 1) | 0,1 kg KHK/ " |
| 1) kaasuntuotannon mukaan laskettu teor. arvo | |

Verrattuna muissa tutkimuksissa todettuihin arvoihin kuormitus on ollut tilakuorman osalta tavanomainen ja lietekuorman osalta vähän keskimääräistä alhaisempi. ANAMET prosessissa lietekuorma on ollut luokkaa 0,1-0,6 kg COD/kg MLSS x d, jolloin pienimmät kuormitukset on saavutettu konsentroiduilla jätevesillä (Frostell 1981). UASB reaktorilla on saavutettu 0,5-0,8 kg COD/kg MLVSS x d kuormituksia sokeriteollisuuden jätevesillä ja 1,0-1,4 kg COD/kg MLVSS x d kuormituksia perunajätevesillä (Lettinga et al. 1980b).

Rumpusiivilästä syötetyn lietteen pH oli n. 6,4. Pitkään selkeytysaltaassa olleen lietteen pH oli n. 4,5, mikä saattoi olla syynä pH:n laskuun havaintojakson alkupuoliskolla, kun syöttömäärä selkeytyksestä oli suuri.

Puhdistusteho

Analyysitulosten mukaan reaktorissa on saavutettu taulukon 14 mukaiset reduktiot.

Taulukko 14. Reaktorin puhdistusteho havaintojaksolla

| analyysi | syöttö | poisto | red. | redusoitunut määrä ($Q = 4 \text{ m}^3/\text{d}$) |
|--------------------------|--------|--------|------|---|
| BHK ₇ (mg/l) | 19900 | 6100 | 69 % | 55 kg |
| KHK _{Mn} (mg/l) | 11300 | 4100 | 64 % | 30 " |
| KHK _{Cr} (mg/l) | 47000 | 17400 | 63 % | 120 " |
| TS (% pain) | 7,8 | 3,3 | 57 % | 180 " |
| VS (% pain) | 6,9 | 2,2 | 68 % | 190 " |

Biologisille prosesseille tyypillisesti BHK-reduktio on suurempi kuin KHK-reduktio, mikä johtuu vaikeasti hajoavien yhdisteiden, tässä tapauksessa perunan kuoriaineksen osuudesta.

Redusoituneet ainemäärät ovat etenkin BHK:n ja KHK:n osalta ristiriidassa saavutettujen kaasuntuotantokulujen kanssa. Tämä viittaa siihen, että biologisen ja kemiallisen hapenkulutuksen analyysimenetelmät ovat melko epätarkkoja kon-sentroitujen lietteiden yhteydessä. Analyyseillä saadut arvot ovat todellista pienempiä.

Kaasun saanto perunajätteestä

Reaktorin tilavuustuotto havaintojaksolla oli $2,0\text{--}2,9 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{d}$, josta metaania oli n. 55 %. Perunajätteen kuiva-aineesta saatavat kaasumäärät olivat taulukon 15 mukaiset.

Taulukko 15. Kaasun saanto perunajätteen kuiva-aineesta

| syöttö | biokaasua | metaania |
|------------------------|------------------|-------------------|
| 1 kg TS _{IN} | 0,8 m^3 | 0,45 m^3 |
| 1 kg VS _{IN} | 0,9 " | 0,50 " |
| 1 kg VS _{RED} | 1,3 " | 0,70 " |

Kaasunsaannot ovat poikkeuksellisen korkeita. Ne ylittävät jätteen koostumuksen mukaan lasketun teoreettisen kaasuntuotannon, joka on n. $0,70 \text{ m}^3/\text{kg VS}$. Mahdollisia syitä tilanteeseen ovat mm. syöttömäärien mittausvaikeudet varsinkin selkeytysaltaan osalta ja pitkä viipymä (24 d), jolloin perunan kuoriosaa on osittain saattanut hajota. Toisaalta kymmenen vuorokauden havaintojakso ei vielä anna tarkkaa kuvaa, etenkin kun tasapainotilaa ei oltu täysin saavutettu. Edelleen stökiometristen kaasuntuotantolaskelmien vertailukelpoisuutta käytännön kaasuntuotannon kanssa ei ole tarkasti selvitetty. Voidaan kuitenkin todeta, että kaasun saanto perunajätteestä oli erittäin hyvä osoittaen sekä jätteen että reaktortyyppin käyttökelpoisuutta. Säätoimenpiteiden jälkeen voidaan kapasiteettia ilmeisesti edelleen lisätä.

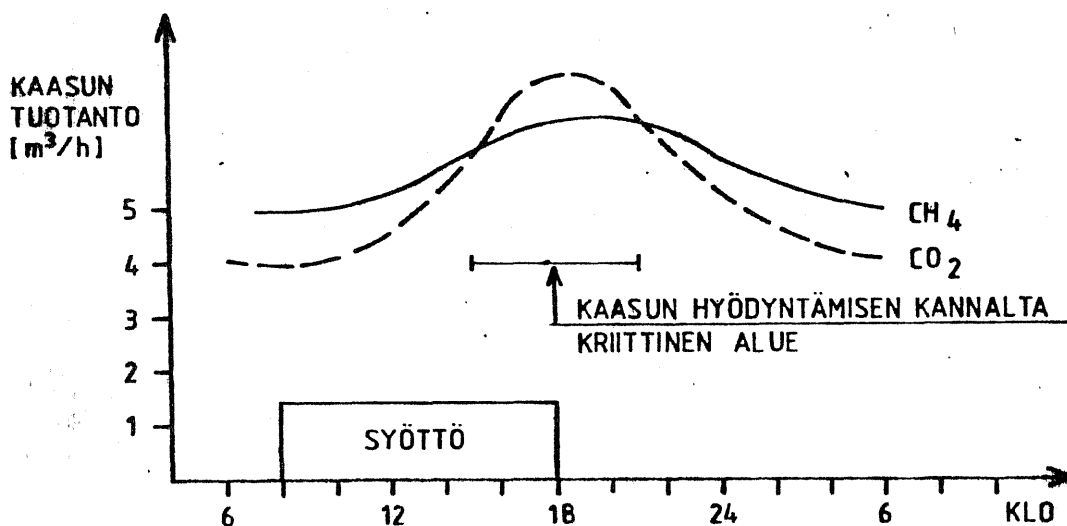
Syöttömäärien vaihtelun merkitys kaasun hyväksikäytölle

Kaasun käyttöä polttomoottorigeneraattorissa haittasi ajoittainen korkea hiilidioksidipitoisuus. Totem-generaattorin hyötysuhde heikkenee voimakkaasti, kun kaasun CO_2 -pitoisuus lähenee 50 %:a.

Perunaraaka-aineesta saatavan kaasun keskimääräinen CO_2 -pitoisuus on noin 40 % ja metaanipitoisuus noin 55 %. Tämän vuoksi verraten pienikin kaasun laadun heikkeneminen aiheuttaa vaikeuksia hyväksikäytölle.

Kaasun laadun vaihtelun syynä on raakalietteen epätasainen syöttö. Mabi-ryhmän laboratoriokokeissa sekä suoritetuissa BPA testeissä on todettu jätteen olevan erittäin nopeasti hajoavaa. Tämä seikka sekä reaktorin plug-flow toimintaperiaate, jossa liete joutuu ensin happokäymisvaiheeseen, johtavat ajoittaisiin laatuongelmiin. Kuvassa 13 on esitetty tyyppillinen tilanne, jossa kaasun laatu on huonoimmillaan n. klo 15-21 välisenä aikana.

Tilanteen korjaaminen voidaan suorittaa joko pienentämällä syöttömäärän vaihteluita yöllä tapahtuvalla tasaussyötöllä tai käyttämällä riittävän suurta laatueroa tasaavaa kaasusäkkiä. Syötön tasaaminen on selvästi halvempi ja luonnollisempi tapa.



Kuva 13. Metaanin- ja hiilidioksidintuotannon vuorokausivaihtelu

Yhteenvedo reaktorin toiminnasta havaintojaksolla

pH oli jakson alussa yli 7, mutta laski loppupuolella arvoihin pH 6,7-6,9. Redox oli koko jakson ajan melko korkea eli noin - 200 mV. VFA pitoisuus vaihteli välillä 2500-3000 mg/l ollen suositusten ylärajoilla. Näillä perusteilla voi päätellä syöttömäärien olleen lähellä ajankohdan maksimikapasiteettia. Ensimmäisellä viikolla kapasiteetti ylitettiin ajoittain koska pH pyrki laskemaan. Toisella viikolla jouduttiin rajoittamaan syöttöä dortmundista, jolloin myös tuotetut kaasumäärät pienenevät. Saavutettu keskimääräinen $2,5 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{d}$ tilavuustuotto vastaa melko hyvin havaintojakson alun tasapainotilaa.

6.8 YHTEENVETO PUHDISTAMON TOIMINNASTA

6.8.1 Puhdistusteho

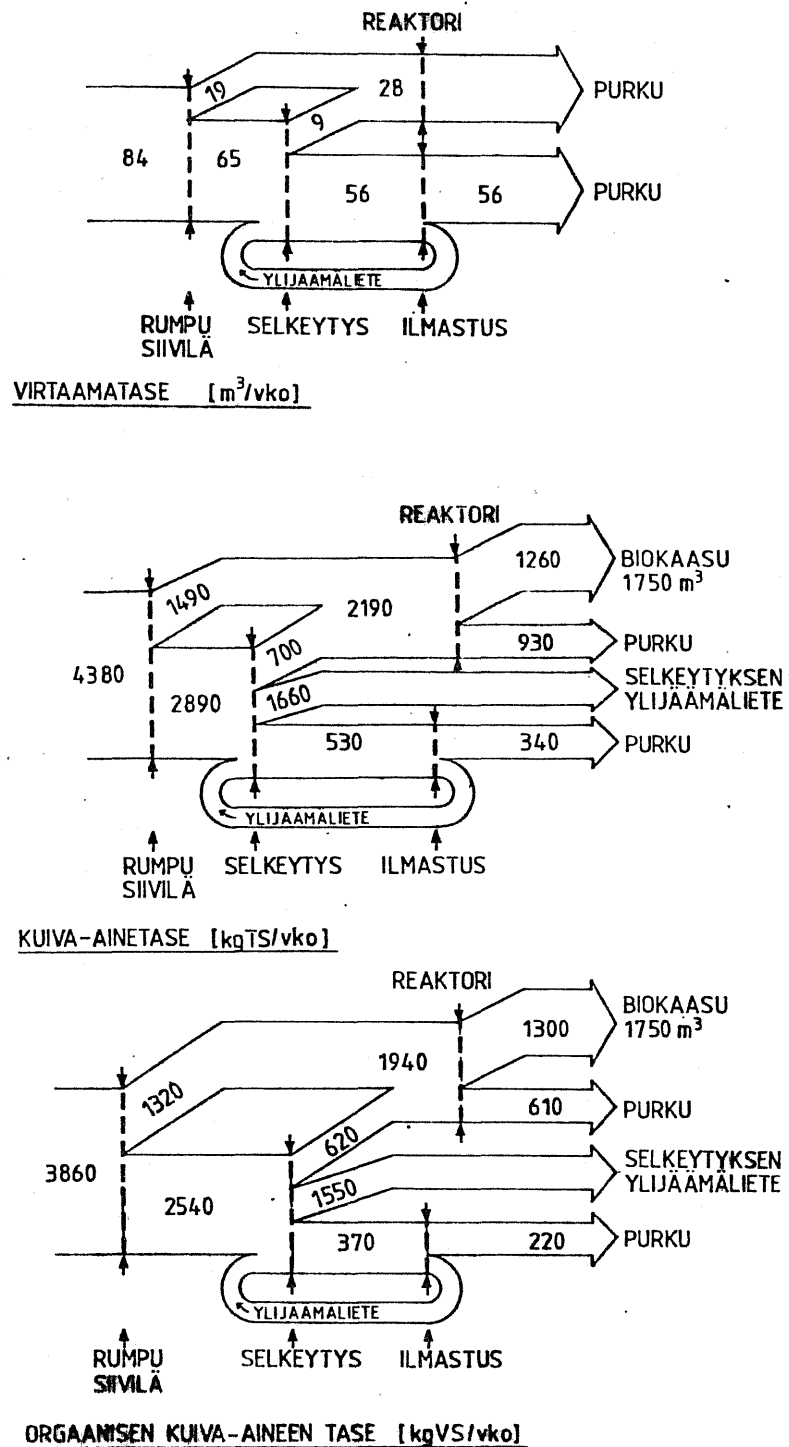
Havaintojaksolla puhdistamolla ei päästy vaadittuihin puhdistustavoitteisiin. Pääsyyinä oli aerobiyksikön alimitoitus ja reaktorilietteen hyötykäytön vaikeudet. Reaktorin kapasiteetti ei myöskään ollut kehittynyt riittävän korkeaksi, jotta kaikki orgaaninen liete olisi voitu siellä käsitellä. Ylimääräliete jouduttiin kuljettamaan kaatopaikalle selkeytysaltaasta.

Taulukko 16. Puhdistusteho ja vesistökuormitus havaintojaksolla 1.-10.12.1981 (viikkotaseen perusteella)

| | tuleva jätevesi | puhdistettu jv. | | reduktio |
|---------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|----------|
| | | reaktorista | ilmastuksesta | |
| | kg/d | kg/d | kg/d | % |
| BHK ₇ | 180 | 24 | 27 | 72 |
| KHK | 400 | 70 | 61 | 67 |
| KHK _{Cr} | 84 | 16 | 11 | 68 |
| N _{Mn} | 7,1 | 3,5 | 2,3 | 18 |
| P _{kok} | 1,2 | 0,7 | 0,4 | 8 |
| TS | 630 | 134 | 49 | 71 |
| VS | 550 | 88 | 31 | 78 |
| Q kesk. (7d/vko) | $12 \text{ m}^3/\text{d}$ | $4 \text{ m}^3/\text{d}$ | $8 \text{ m}^3/\text{d}$ | - |

6.8.2 Ainetaseet

Ainetaseet on laskettu virtaamien ja analyysitulosten perusteella. Taseiden tarkkuus on melko heikko johtuen mm. näytteenoton ja virtaamamittausten virhelähteistä. Virhe näkyy mm. selkeytysaltaan ylijäämalietteen suuresta osuudesta. Arvion mukaan todellinen määrä on alle 1000 kg TS, 800 kg VS/vko. Selvää kuitenkin on, että reaktorin kapasiteettia pitää pysyttyä lisäämään n. 50-70 %, jotta koko lietemäärä voitaisiin käsitellä.



Kuva 14. Puhdistamon virtaamien, kuiva-aineen ja orgaanisen kuiva-aineen taseet havaintojaksolla.

7. REAKTORIN MERKITYS ENERGIAANTUOTANNOS SA

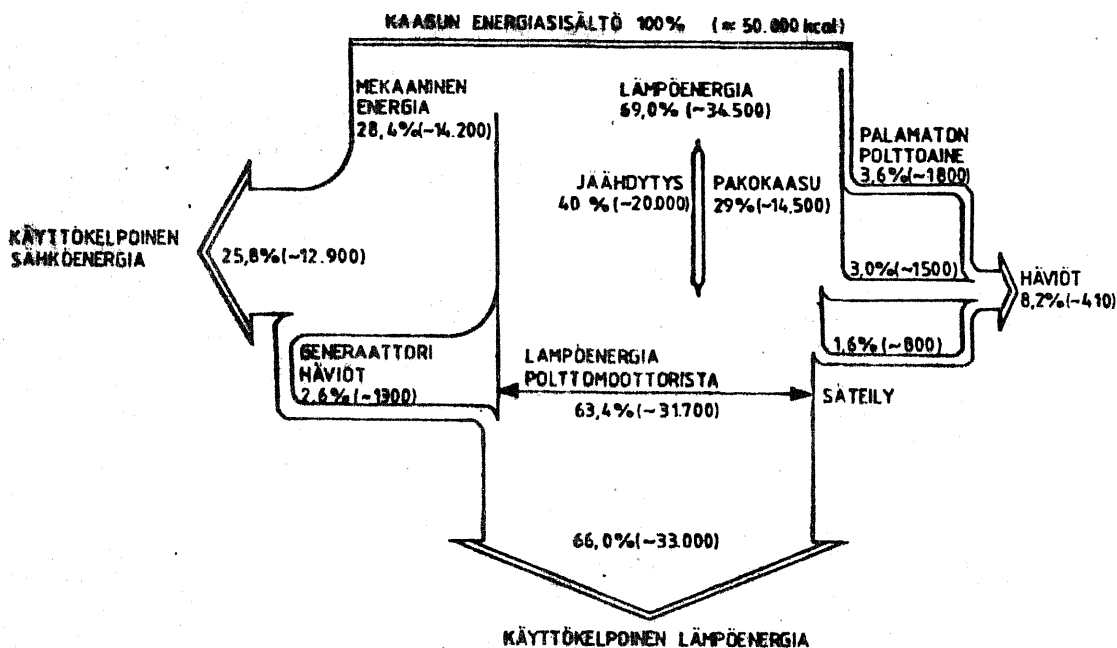
7.1 KAASUN HYÖDYNTÄMINEN

Biokaasun energiasisältö hyödynnetään Fiat-Totem polttomoottorigeneraattorissa, joka tuottaa lämpö- ja sähköenergiaa tehtaan käyttöön. Tuotetun energian määrä riippuu kaasumäärän lisäksi kaasun lämpöarvosta, johon vaikuttaa lähinnä mädätettävän materiaalin koostumus. Perunajätteessä hiilihydraattien suuri osuus johtaa melko pieneen metaanipitoisuuteen (55 % CH₄) ja matalaan lämpöarvoon (n. 20 MJ/m³). Myös reaktorin viipymä⁴ vaikuttaa metaanipitoisuuteen; lyhyellä viipymällä osa hiilidioksidista poistuu nestefaasissa, jolloin kaasun metaanipitoisuus kasvaa.

Taulukko 17. Eri polttoaineiden lämpöarvot ja hyötysuhteet (Parsby 1980)

| | |
|----------------------------------|----------------------------|
| poltto/dieselöljy | 36 MJ/l |
| metaanikaasu | 36 MJ/m ³ NTP |
| biokaasu (65 % CH ₄) | 23,4 MJ/m ³ NTP |
| öljyn poltto | 75 % hyötysuhde |
| kaasun poltto | 80 % " |
| Fiat-Totem | 85 % " |
| Sähkö 1 kWh = 3,6 MJ | 100 % " |

Kaasun kulutus Totem-generaattorissa oli 9,5 m³/h, mikä vastaa 19,5 MJ/m³ lämpöarvolla ja 85 % hyötysuhteella 162 MJ/h energiantuotantoa. Kun sähköenergiaa on n. 28 % on saatava sähköteho teoreettisesti n. 12 kWh eli n. 1,3 kWh/m³. Käytännössä mitattu sähkötehon saanto oli 1,1 kWh/m³.



Kuva 15. Totem-polttomoottorigeneraattorin teoreettinen energiatase (Totemin käyttöohje).

7.2 ENERGIATASE

Energian kulutus

Puhdistamolla käytetystä energiasta pääosa kuluu reaktoriin syötettävän lietteen lämmittämiseen. Toinen merkittävä energian kuluttaja on ilmastusaltaan kompressori. Pieni osa energiasta kuluu reaktorin sekoitus/lietteenpalautussysteemiin, pumppaukseen yms.

Havaintojaksolla 1.-10.12 sähköenergian kulutus puhdistamolla oli keskimäärin 151 kWh/d, josta:

ilmastus (24 h/d) 48 kWh/d
sekoitus (3,5 h/d) 5,5 kWh/d
pumppaus (3 h/d) 2,5 kWh/d

Reaktorin lämmityksen osuudeksi jäisi tällöin n. 95 kWh/d. Reaktorihallin lämpötila oli 14°C ja syöttölietteen lämpötila 11°C.

Reaktorin eristykseenä on 200 mm lasivillaa, joka on peitetty 1 mm:n alumiinilevyllä. K-arvo on n. 0,25 W/m²°C, ja reaktorin pinta-ala 170 m². Lämpöhäviö on tällöin:

$$P_h = A \cdot K \cdot \Delta t \quad \text{jossa}$$

A = reaktorin pinta-ala (m²)

K = lämmönläpäisykerroin (W/m² °C)

Δt = prosessilämpötilan ja ulkolämpötilan erotus (°C)

Lämmönhukka reaktorihallin lämpötilassa on luokkaa 20 kWh/d. Kylmässä hallissa reaktorin lämmönhukka on vuoden keskilämmön mukaan n. 35 kWh/d ollen suurimmillaan helmikuussa 45 kWh/d ja pienimmillään heinäkuussa 15 kWh/d.

Taulukko 18. Puhdistamon energiankulutus havaintojaksolla

| | kWh/d | % |
|--------------------|-------|-----|
| Reaktorin lämmitys | 95,0 | 63 |
| Ilmastus | 48,0 | 32 |
| Sekoitus | 5,5 | 4 |
| Pumppaus | 2,5 | 1 |
| | 151,0 | 100 |

Energian tuotto

Havaintojakson (10 d) kaasun tuotanto oli n. 2530 m³, josta hyödynnettiin generaattorissa 1820 m³ eli 72 %. Sähköenergian tuotto oli 2020 kWh, josta laskettu lämpöenergiantuotanto oli 5060 kWh. Hyödynnetystä kaasukuutiometristä saatiin siis 3,9 kWh energiaa, kun teoreettinen arvo on 4,7 kWh. Melko pieni energian saanto johtuu kaasun ajoittaisesta huonolaatuisuudesta, jolloin Totemin hyötysuhde sähköntuotannossa laski hyvin pieneksi.

Tuotetusta energiasta n. 15 % kului reaktorin lämmitykseen ja sekoitukseen. Mikäli kaasun laatua pystytään tasaamaan ja kaikki kaasu voidaan hyödyntää, voitaneen kulutetun energian osuus pienentää noin 11 %:iin (liite 5).

Taulukko 19. Reaktorin energiatase havaintojaksolla

| | | |
|-------------------|-----------|-------|
| Tuotettu energia | 780 kWh/d | 100 % |
| Kulutettu energia | | |
| - lämmitys | 95 kWh/d | 14 % |
| - sekoitus | 6 kWh/d | 1 % |
| Nettotuotto | 607 kWh/d | 85 % |

8. REAKTORILIETTEEN KÄSITTELY - JA HYÖTYKÄYTTÖMAHDOLLISUUDET

8.1 YLEISTÄ

Lietteen käsittelyn tavoitteena on yleensä vesipitoisuuden alentaminen kuljetusta, varastointia ja sijoittamista varten sekä lietteen saattaminen ympäristölle mahdollisimman haitattomaan muotoon. Ensisijaisesti tulisi pyrkiä hyödyntämään liete maanparannusaineena.

Mädätyksessä suuri osa syöttölietteen orgaanisesta kuiva-aineesta hajoaa metaaniksi ja hiilidioksidiksi. Ravinteista pääosa säilyy lietteessä; vain pieni osa tyydestä voi poistua mädättämökaasun mukana. Reaktorilietteelle on ominaista suuri ravinnekonentraatio ja pieni kuiva-ainepitoisuus. Lietteen orgaanisen aineen hajoaminen on yleensä edennyt niin pitkälle, ettei jatkostabilointia tarvita.

8.2 REAKTORILIETTEEN OMINAISUUDET

Perunajätteen anaerobikäsittelyssä syntyvän lietteen ominaisuuksia selvitettiin reaktorin kummallakin käyntijaksolla. Yhteenvedo ominaisuuksista on esitetty taulukossa 20.

Taulukko 20. Reaktorilietteen keskimääräiset ominaisuudet ensimmäisellä (I) ja toisella (II) käyntijaksolla (havaintojakso).

| | | | |
|----|-------------------|-----------|------------|
| I | TS | 1,4 | % painosta |
| | VS | 0,9 | " |
| | BHK ₇ | 2000-4000 | mg/l |
| | N | n. 450 | " |
| | P | n. 110 | " |
| II | TS | 3,3 | % painosta |
| | VS | 2,2 | " |
| | BHK ₇ | 6100 | mg/l |
| | KHK | 4100 | " |
| | KHK ^{Mn} | 17400 | " |
| | N ^{Cr} | 870 | " |
| | P | 170 | " |

Erot jaksojen välillä johtunevat lähinnä syöttölietteen suuremmasta kuiva-ainepitoisuudesta II-jaksolla. Syöttö tapahtui tällöin suuremmalla rakokoolla varustetusta rumpusiivilästä. Hämmenninkoneistoon käyttökatkon aikana asennettu hiekkakaavin on myös saattanut vaikuttaa poistolietteen ominaisuuksiin.

Taulukko 21. Reaktorilietteen lannoiteominaisuuksien vertailu muihin lietteisiin (mg/kg TS)

| | Typpi | Fosfori | Kalium | Kalsium | Magnesium |
|---------------|---------|---------|--------|-------------------|-------------------|
| Jätevesiliete | | | | | |
| - kuivattu | 3,5 | 2,5 | 0,5 | 0,5 ^{x)} | 1,0 ^{x)} |
| - nestemäinen | 4,0 | 2,5 | 0,5 | 0,5 ^{x)} | 1,0 ^{x)} |
| Karjanlanta | | | | | |
| - kiinteä | 2,0 | 1,0 | 2,0 | 1,5 | 0,5 |
| - liete | 4,5 | 1,0 | 4,0 | 1,5 | 0,5 |
| Sianlanta | | | | | |
| - liete | 9,0 | 2,5 | 4,5 | 3,0 | 0,5 |
| Reaktoriliete | 2,6-3,2 | 0,5-0,8 | n. 0,1 | n. 1,0 | n. 0,1 |

x) Kalkkisaostuslietteissä on huomattavasti taulukossa mainittuja korkeammat kalsium- ja magnesiummäärät.

Perunajätettä raaka-aineenaan käyttävän reaktorin poistoliete vastaa ravinnepitoisuudeltaan lähinnä karjan lietelantaa. Suuri vesipitoisuus rajoittaa kuitenkin käyttömahdollisuuksia. Reaktorilietettä syntyy ajotavasta riippuen 4-8 m³/d (7 d/vko).

Laskeutuvuus

Reaktorilietteen laskeutuvuusominaisuudet olivat erittäin heikot. 1000 ml mittalasissa suoritetuissa 30 min ja 2 h laskeutuskokeissa ei saatu selvää lietepintaa, vaan suuri osa kiintoaineesta jäi leijumaan nestefaasiin. Pohjalle laskeutui 100-200 ml löyhä sakka. Huonot laskeutuvuusominaisuudet johtuvat osaksi reaktorin rakenteesta. Viimeisen osaston toimissa selkeyttimenä vain kevyt, vaikeasti laskeutuva kiintoaine pääsee poistumaan reaktorista.

Aerobikäsittelyn edellytykset

Mikäli reaktorilietettä aiotaan käsitellä aerobisesti on kiintoaine poistettava. Kiintoaineen poiston jälkeen lieteveden BOD₇ on luokkaa 1000-3000 mg/l.

8.3 REAKTORILIETTEEN KÄSITTELYVAIHTOEHDOT

Reaktorilietteen sisältämien suurien ravinnemäärien johdosta käsittelyn tavoite on hyötykäyttö maanparannusaineena. Seuraavassa on tarkasteltu viittä eri vaihtoehtoa.

1. Suora käyttö lannoitteeksi
2. Gravitaatiotiivistys + aerobikäsitteily
3. Mekaaninen kiintoaineen erotus
4. Koneellinen kuivaus
5. Kuivaus lietelavoilla.

Lietteen kuljettaminen kaatopaikalle ei tule kyseeseen kuin tilapäisratkaisuna. Lietteen kuljetuskustannukset ovat sitäpaitsi niin suuret, että hyötykäytön järjestäminen vesipitoisuutta pienentämällä on kustannuksiltaan samaa luokkaa.

Toteuttamiskelpoisimmat vaihtoehdot ovat kiintoaineen mekaaninen erotus yhdistettynä aerobiin käsittelyyn sekä lietelavakäsittely. Mekaanisen erotuksen osalta on pyrittävä järjestämään koeajot eri tyyppisillä erottimilla. Samoin mahdollisuuksia reaktorin lieteveden käsittelyyn aerobisesti olisi tutkittava pilot mittakaavassa.

Taulukko 22. Lietteenkäsittelyn kustannusten yhteenveto



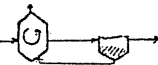
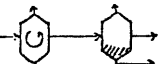
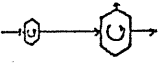



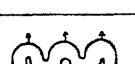
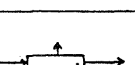
| Käsittelymenetelmä | investointi mk | vuotuis kustannus mk/a | 10 v 6 % mk | | mk/t TS |
|----------------------------------|-------------------|------------------------------|-------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| 1. Suora käyttö aerobiosa | 90 000 - | 38 500 - | 283 000 - | 373 000 - | 680 |
| 2. Gravit.tiivistys aerobiosa | 90 000 50 000 | 16 500 5 000 | 121 000 37 000 | 211 000 87 000 <u>298 000</u> | (390) (159) <u>549</u> |
| 3. Mek. erotus aerobiosa | 50 000 50 000 | 5 500 5 000 | 41 000 37 000 | 91 000 87 000 <u>178 000</u> | (166) (159) <u>325</u> |
| 4. Kon. kuivaus aerobiosa | 300 000 50 000 | 13 300 5 000 | 98 000 37 000 | 398 000 87 000 <u>485 000</u> | (726) (159) <u>885</u> |
| 5. Lietelavat | 100 000 - | 16 000 - | 118 000 - | 217 000 - | 396 |

LÄHDELUETTELO

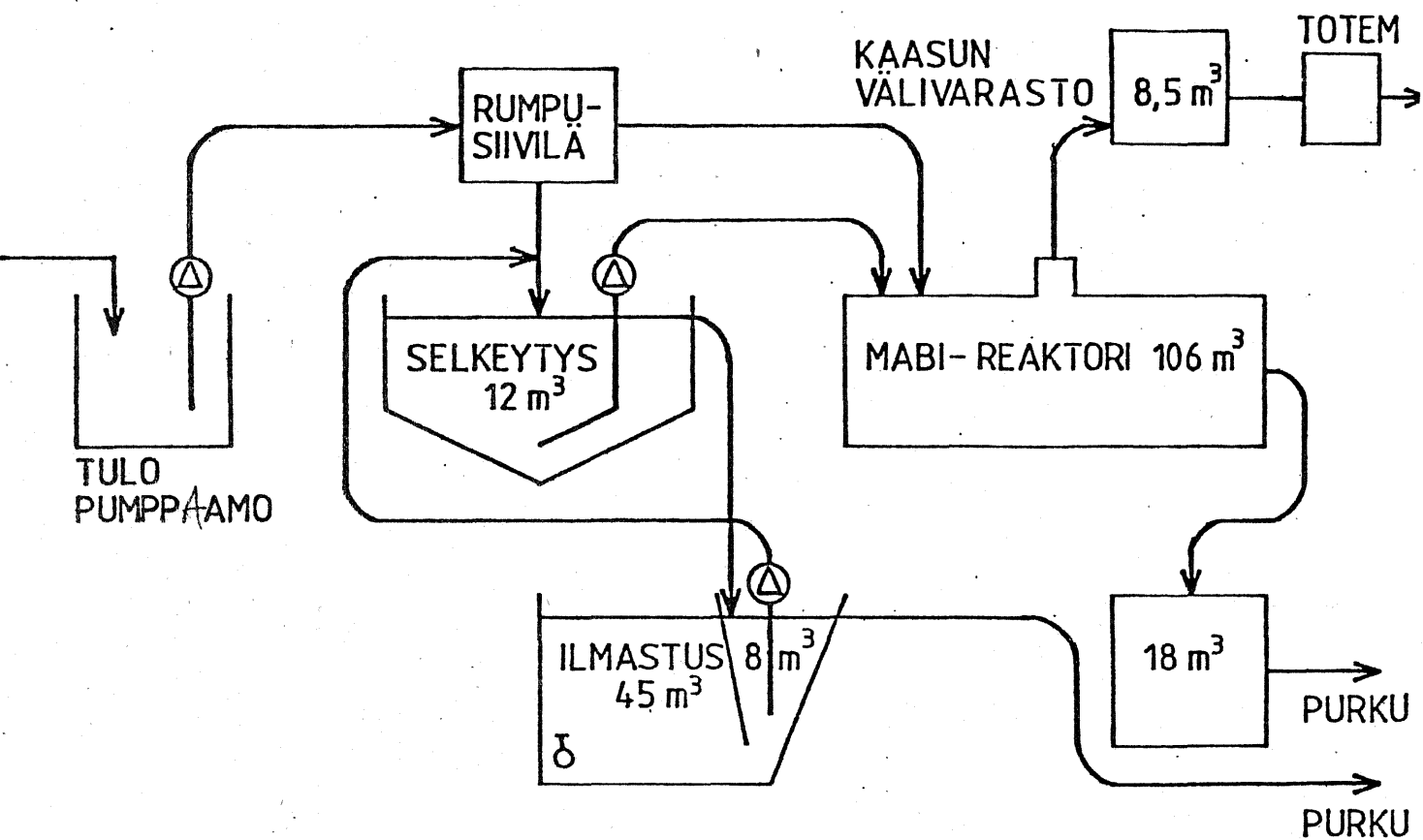
- van Bellengen, M., The Elimination of Organic Wastes from Surface Waters. 13th TNO Conference, Rotterdam 27. - 28.3.1980.
- Björndahl, H., Anaerob behandling av livmedelsindustriella avloppsvatten i Holland. IVL rapport B 568, Stockholm, september 1980.
- Brovko, N., Chen, K.Y., Optimizing Gas Production, Methane Content, and Buffer Capacity in Digester Operation. Water & Sewage Works, July 1977.
- DiLallo, R., Albertson, O.E., Volatile Acids by direct Titration. J. Water Pollution Control Federation, vol 33, April 1961.
- Dirasian, H.A., Electrode Potentials Significance in Biological Systems. Water & Sewage Works, vol 115, October 1968.
- Dirasian, H.A., Molof, A.H., Borchardt, J.A., Electrode Potentials Developed during Digestion. J. Water Pollution Control Federation, vol 35, 1963.
- Enqvist, R. Biotekniikan mahdollisuudet Suomen talouselä-mässä. Täydennyskoulutuskurssi Lahdessa 31.8. - 1.9.1981.
- Fischer, J.R., Iannotti, E.L., Stevens, D.M., Anaerobic Digestion of Manure from Swine Fed on Various Diets. Agricultural Wastes, vol 3, nro 3, 1981.
- Frostell, B., Anamet Anaerobic Treatment of Concentrated Waste Waters. 36th Industrial Waste Conference, Purdue University, Indiana, 12-14 May 1981.
- Frostell, B., Norrmann, J., Anaerob nedbrytning - avfalls-behandling och energiåtergivning. Vatten 2:1976.
- Ghosh, S., Phland, F.G., Kinetics of Substrate Assimilation and Product Formation in Anaerobic Digestion. J. Water Pollution Control Federation, vol 46, April 1974.
- Hills, D.J., Roberts, D.W., Anaerobic Digestion of Dairy Manure and Field Crop Residues. Agricultural Wastes, vol 3, nro 3, 1981.
- Järvensivu, H., Perunanjalostusteollisuuden jätevesistä ja niiden käsittelystä. Vesihallituksen tiedotus 193, Helsinki 1980.
- Kugelman, I.J., Chin, K.K., Toxicity, Synergism and Anta-gonism in Anaerobic Treatment Processes. Anaerobic Digestion for Methane Production - A status Report by D.L. Klass, Bio-Energy World Congress & Exposition, Atlanta 21-24 April 1980.

- Lettinga, G., van Velsen, W., de Zeeuw, S.W., Hobma, S.W.,
The Application of Anaerobic Digestion to Industrial
Pollution Treatment. Anaerobic Digestion. Edited by
D.A. Stafford, B.I. Wheatley and D.E. Hyghes.
Proceedings of the First International Symposium on
Anaerobic Digestion, Cardiff, September 1979, London
1980(a).
- Lettinga, G., van Velsen, A.F.M., Hobma, S.W., de Zeeuw W.,
Klapwijk, A., Use of the Upflow Sludge Blanket Reactor
(USB) Concept for Biological Waste water Treatment,
Especially for Anaerobic treatment. Biotechnology and
Bioengineering, vol 22, 1980(b).
- Ljunggren, H., Petr , F., Metanframst llningens mikrobiologi
Litteratur versikt. Rapport fr n institutionen f r
mikrobiologi. nr. 7, Uppsala lantbruksh gskola 1976.
- McCarthy, P.L., Anaerobic Waste Treatment Fundamentals, Part
IV Process Design. Public Works, vol 95, no. 12, 1964.
- Norha, T., M d tys. Kunnallisten j tevesilietteiden k sittely.
INSKO julkaisu 81-75, Helsinki 1975.
- Parsby, M., Ekonomisk dimensionering av biogasframst llning.
Biogas fr n g dsel och slam, Rapport fr n ett nordiskt
seminarium i Esbo, September 1980. Milj v rdsserien
publikation 4:1980.
- Puolanne, J., Tiitto, P., Sepp l , M., Pienten j tevedenpuhdis-
tamoiden lietteen kuivaaminen luonnonmenetelmi  k yt-
t en. Vesitalous 1:1981.
- P pel, F., Sludge Digestion. Stuttgart 1967.
- Smith, O., Potatoes, Production, Storing, Processing.
Westport Conn. 1968.
- Speece, R.E., Kem, J.A. The Effect of Short-term Temperature
variations on Methane Production. J. Water Pollution
Control Federation, vol 42, November 1970.
- Talburt, W.F., Scvimmers, S., Burr, H.K. Structure and
Chemical Composition of Potato Tuber. Potato
Processing, Edited by W.F. Talburt and O. Smith,
Westport Conn. 1976.
- Viitasalo, I., Ett snabbt laboratorietest f r biogasproduk-
tion. Biogas fr n g dsel och slam. Rapport fr n ett
nordiskt seminarium i Esbo, September 1980. Nordforsk
Milj v rdsserien publikation 4:1980.
- Visuri, K., T rkkelysteollisuuden j tteet. Ymp rist  ja
terveys, 1:1977.
- Ylinen, A., Sianlietelannan anaerobisen m d tyksen mikrobi-
logiasta. Helsingin yliopisto, laudaturty  1978.

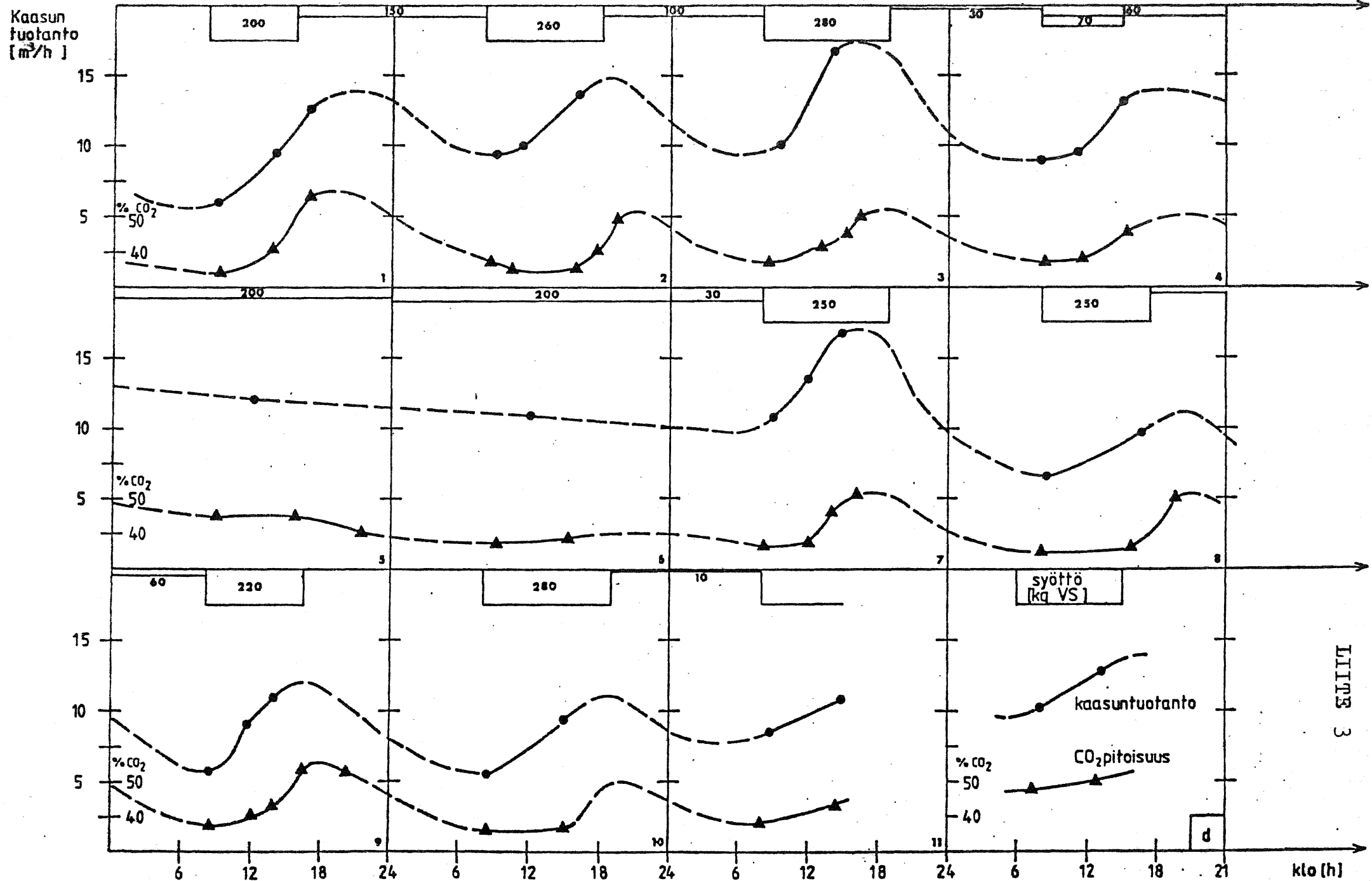
ANAEROBITEKNIIKAN SOVELLUTUKSIA (Enqvist 1981 mukaelleen)

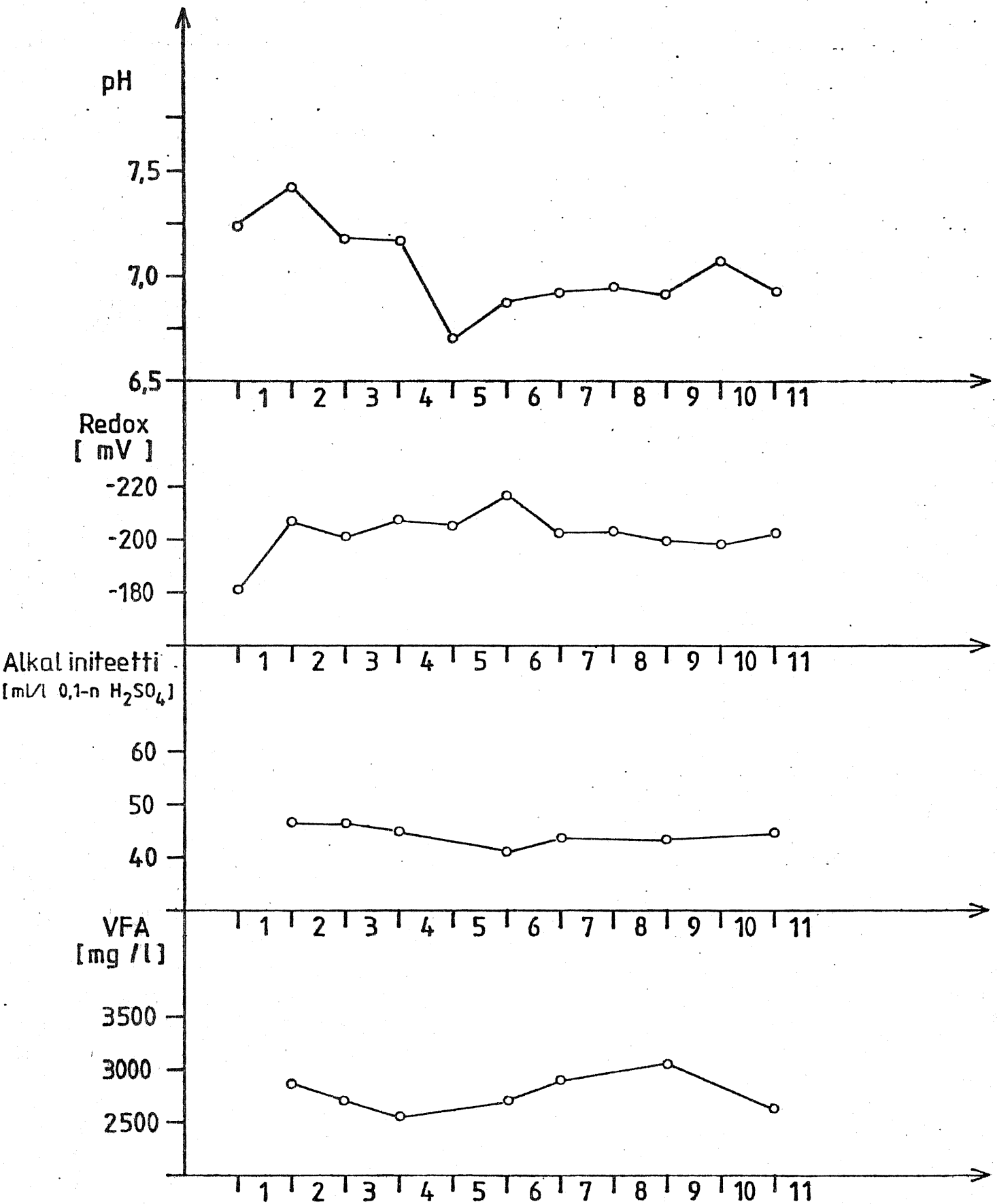
| REAKTORITYYPPI | PROSESSIKUVAUS |  | KUIVA-AJNERAJAT | | COD mg/l | VIIPYMÄ d | KUORMITUS /m ³ d kg VS | REDUKTIO % | KAASUN TUOTTO vol/volR | |
|--|--|---|-----------------|---------|-------------|--------------|---|---------------|---------------------------|--|
| | | | TS % | TSS % | | | | | | |
| TÄYSSEKOITTEINEN (high-rate) | sekoitus: turbiini, pumppu, kaasus |  | 2 - 10 | 0 - 5 | >5000 | 10 - 30 | 1 - 5 kg VS | 40 - 60 | 1 | lanta, teollisuus- kunnallinen liete |
| KONTAKTIPROSESSI (contact reactor) | mikrobien palautus |  | 0,2 - 2 | 0,1 - 1 | >5000 | 5 - 15 | 2 - 8 kg VS | 50 - 80 | 1,5 | meijerit, lihanjalostus, alkoholin valmist. |
| KAKSIVAIHEINEN (2-stage) | kaksi sarjassa, sedimentaatio |  | 1 - 5 | 0 - 2 | >5000 | 10 - 30 | 1 - 5 kg VS | 50 - 70 | 1 | kunnallinen liete |
| HAPPO-METAANI (2-phase) | eri pH ja mikrobikanta |  | < 10 | 5 | >5000 | 10 - 30 | 1 - 5 kg VS | 40 - 60 | 1 | kemiallinen ja elintarviketeoll. |
| SUODIN (filter) | täyte: kivi, lasi, muovi |  | 0 - 2 | 0 | >2000 | 0,5 - 2 | 5 - 10 kg COD | 80 - 90 | 2 - 5 | laiment jätevedet kunnall., puunjalostus |
| LEIJUKERROS (fluidized bed) | Kantomateriaalina hiekkia |  | 0 - 2 | 0 | >2000 | 0,5 - 2 | 5 - 10 kg COD | 80 - 90 | 2 - 5 | laiment jätevedet sokeriteollisuus |
| UASB (upflow anaerobic sludge blanket) | virtaus alhaalta ylös |  | 0 - 2 | 0 | >2000 | 0,2 - 2 | 5 - 15 kg COD | 85 - 95 | 5 - 10 | laiment jätevedet sokeri- ja perunateollisuus |
| TULPPAVIRTAUS plug-flow | tasainen viipymä |  | 2 - 10 | 0 - 5 | >5000 | 10 - 20 | 1 - 5 kg VS | 50 - 80 | 1 | lietelanta, muut lietteet |
| KABI | monivaihekontakti, mikrobien palautus |  | 2 - 20 | 0 - 10 | >5000 | 5 - 15 | 2 - 10 kg VS | 60 - 90 | 2 - 3 | lanta, perunajäte kork, kiintosineella |

LIITE I

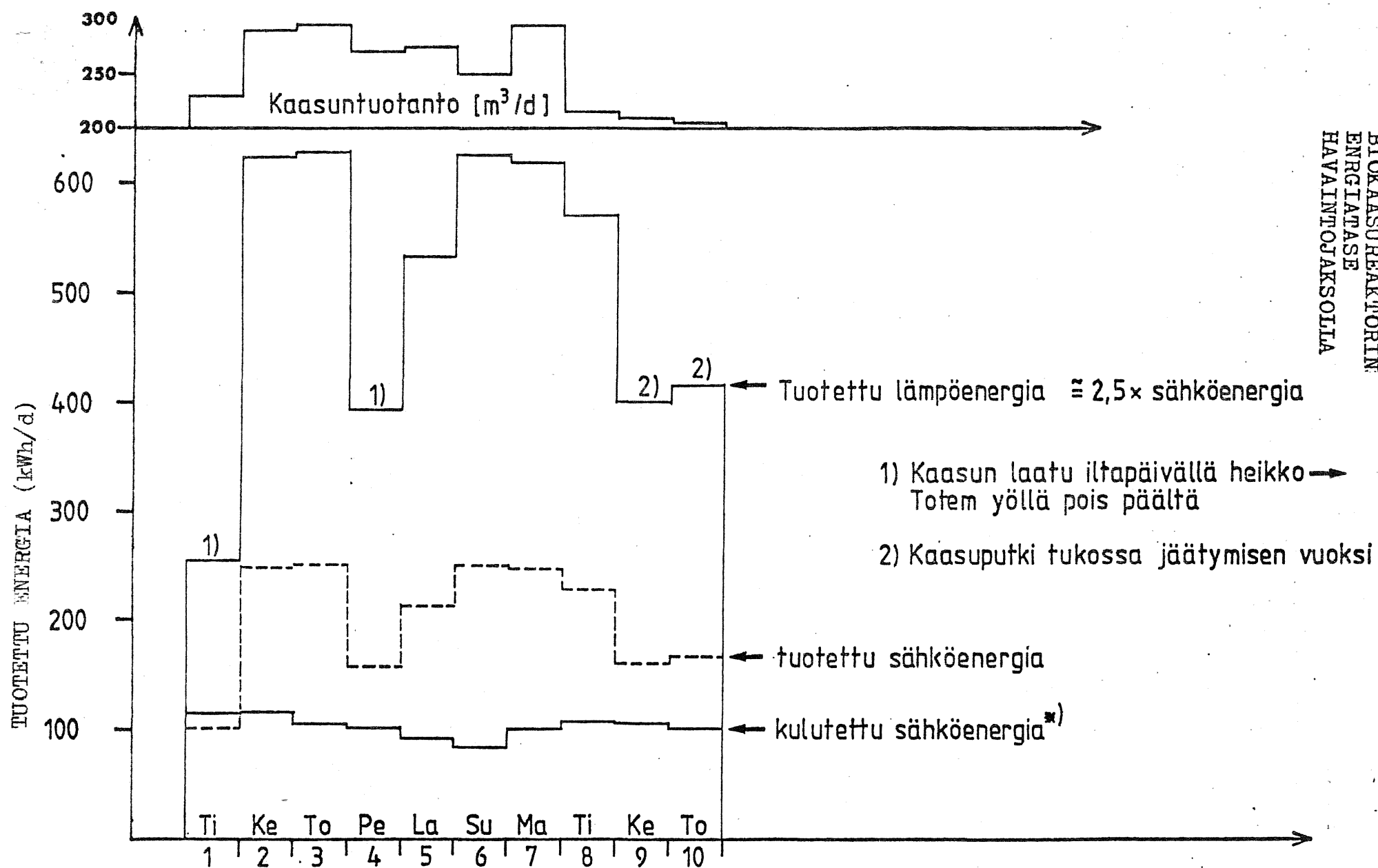


KAASUN TUOTANTO JA SYÖTTÖMÄÄRÄT TUTKIMUSJAKSULLA 1.-10.12.1981





Reaktorin toimintaparametrejä havaintojaksolla.



Reaktorin energiatase havaintojaksolla

*) ilmastus (48 kWh/d) poislueutuna

